

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

**Optimalizace výroby ultrazvukového senzoru
pro měření hladiny a teploty oleje**

Production Optimization of an Ultrasonic Sensor
for Measuring the Oil Level and Temperature

Student:

Bc. Dominik Rozehnal

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Vladimíra Schindlerová, Ph.D.

Ostrava 2018

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Dominik Rozehnal**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 6208T116 Průmyslové inženýrství
Téma: **Optimalizace výroby ultrazvukového senzoru pro měření hladiny
a teploty oleje**
**Production Optimization of an Ultrasonic Sensor for Measuring the Oil
Level and Temperature**

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Teoretická východiska vybrané problematiky.
2. Analýza současného stavu.
3. Identifikace úzkých míst a problémů.
4. Návrh řešení.
5. Zhodnocení a přínos pro podnik.

Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN ISO 690 (01 0197) *Informace a dokumentace: Pravidla pro bibliografické odkazy a citace
informačních zdrojů*. Praha: ÚNMZ, 2011, 40 s.

KEŘKOVSKÝ, M. *Moderní přístupy k řízení výroby*. Vyd. 2. Praha: C. H. Beck, 2009. 137 s. ISBN 978-80-740-0119-2.

MAŠÍN, I., VYTLAČIL, M. *Cesty k vyšší produktivitě. Strategie založené na průmyslovém inženýrství*.
Liberec. Institut průmyslového inženýrství. 1996, ISBN 80-902235-0-8.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Vladimíra Schindlerová, Ph.D.**

Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018

Ing. Lucie Krejčí, Ph.D.
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V práci jsem použil interní údaje o technických parametrech ultrazvukového senzoru pro měření hladiny a teploty oleje a zařízení pro osazování čepičky a těsnění pro daný senzor, získaných od firmy Continental Automotive Czech Republic s.r.o., firma s jejich zveřejněním souhlasí.

V Ostravě dne 11.5.2018

.....
Doxekmal

Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou diplomovou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této diplomové práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že – podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů – že tato diplomové práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 11.5.2018

.....
Podpis autora práce

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Dominik Rozehnal

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Rumunská 4045, Kroměříž 767 01

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

ROZEHNAL, D. *Optimalizace výroby ultrazvukového senzoru pro měření hladiny a teploty oleje: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2018, 69 s. Vedoucí práce: Schindlerová, V.

Diplomová práce se zabývá optimalizací výroby ultrazvukového senzoru pro měření hladiny a teploty oleje, přesněji úzkým místem, kterým je linka osazování čepičky a těsnění. V úvodu je probrána základní teorie týkající se štlhlé výroby a optimalizace, pozornost je věnována především metodě Poka-Yoke. V následujícím kroku je představena firma, její základní informace, čím se zabývá a stručný výrobní sortiment firmy. Kapitola pokračuje popsáním výrobku a procesu. V další kapitole se detailně popisují problémy, úzká místa, společně s přínosy pro firmu. Na základě předešlých kapitol se praktická část soustředí nejdříve na navržení řešení a následně se návrhy řešení realizují v praxi. Výsledky testů jsou zhodnoceny a posouzeny. Pro zjištěné nedostatky nebo nezdařené návrhy, jsou doporučena alternativní řešení, která by měla vést k optimalizaci.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

ROZEHNAL, D. *Production Optimization of an Ultrasonic Sensor for Measuring the Oil Level and Temperature: Master Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, 2016, 69 p. Thesis head: Schindlerová, V.

Master thesis is dealing with the production optimization of an ultrasonic sensor for measuring the oil level and temperature, more precisely with the bottleneck, which is the production line assembly of cap and sealing ring. In the introduction is discussed the basic theory for lean production and optimization. Attention is paid primarily to the method Poka-Yoke. Subsequently is presented the company, its basic information, what it deals with and brief products assortment of the company. In the next chapter are discussed in detail the problems, bottlenecks, together with benefits for the company. Based on the foundations of previous chapters is the practice chapter focusing firstly on suggesting the solutions and subsequently are the solutions tried in practice. The results of experiments are evaluated and assessed in the conclusion. For the identified deficiencies or failed solutions are recommended alternative solutions, that should lead to optimization.

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů	7
1 Úvod.....	8
2 Teoretická východiska vybrané problematiky	9
2.1 Štíhlá výroba	9
2.2 Poka-Yoke.....	11
3 Analýza současného stavu.....	13
3.1 Představení společnosti	13
3.2 Popis výrobku	15
3.3 Popis procesu	18
4 Identifikace úzkých míst a problémů	23
4.1 Úzká místa stanice.....	23
4.2 Problémy	23
5 Cíle optimalizace zařízení	29
6 Návrh řešení	30
6.1 Realizace řešení.....	39
6.2 Návrh alternativních řešení	58
7 Zhodnocení a přínos pro podnik	60
7.1 Přínos pro podnik	60
7.2 Zhodnocení.....	61
8 Závěr	63
Seznam použité literatury	64
Seznam obrázků.....	66
Seznam tabulek	69

Seznam použitých značek a symbolů

AG	Akciová společnost (AktienGesellschaft)
ACM	Akrylová guma (Alkyl Acrylate Copolymer)
CT	Čas cyklu (Cycle Time)
Housing	Základna (spodní část výrobku)
H-Ring	Těsnění (v řezu má tvar písmene „H“)
JIT	Just in Time (nepřekládá se)
MES	Výrobní informační systém (Manufacturing Execution System)
NOK	Špatný výrobek (Not OK)
OK	Dobrý výrobek
PCB	Deska plošných spojů (Printed Circuit Board)
Piezo	Piezo (nepřekládá se), součástka fungující na piezoelektrickém jevu
PTFE	Teflon (PolyTetraFluorEthylen)
RED Box	Schránka pro neshodné výrobky
SMED	Výměna nástrojů během jedné minuty (Single Minute Exchange of Dies)
TPM	Totálně produktivní údržba (Total Productive Maintenance)

1 Úvod

V dnešní době jsou kladeny stále vyšší nároky na firmy a jejich konkurence schopnost. Pokud má být podnik úspěšný, musí dbát maximálně na požadavky zákazníka a na kvalitu se kterou dané požadavky splní. Efektivní způsob, jak dosáhnout maximální kvality ve všech odvětvích, je zavedení štíhlého řízení.

Jedno z odvětví, které spadá pod štíhlé řízení, je optimalizace procesů. Jednotlivé procesy nejsou nikdy dokonalé a pro dosažení ideálního stavu, je nutné dané procesy vylepšovat a optimalizovat, aby byl zákazník maximálně spokojený.

Cílem diplomové práce je optimalizovat výrobu ultrazvukového senzoru pro měření hladiny a teploty oleje, v úzkém místě, kterým je linka osazování čepičky a těsnění. Daný proces osazování je problematický a výrobek, který z procesu odchází na další stanoviště, nesplňuje kvalitativní požadavky, a proto je nutná optimalizace.

2 Teoretická východiska vybrané problematiky

V této kapitole bude nejdříve probrána všeobecná teorie štlhlé výroby a metody, společně s nástroji, které se nejčastěji používají. Následně se detailněji popíše a rozebere metoda Poka-Yoke, protože se tato metoda bude dále využívat a často o ni zmiňovat v diplomové práci.

2.1 Štlhlá výroba

V dnešní době, pokud chce být podnik úspěšný, tak již musí být štlhlý (Lean), neboli využívat metod Lean Management. Podnik, který využívá metod Lean Management je takový, který se snaží trvale zlepšovat jako organizace (to znamená, že se snaží zlepšovat úplně všichni, jak manažeři, tak dělníci ve výrobě) ve všech oblastech (výroba, procesy, administrativa, logistika) a snaží se zamezit plýtvání. Pro štlhlý podnik je zákazník prioritou a daný podnik je silně orientován na uspokojování potřeb zákazníka.^{1, 2, 3, 4, 5}

Štlhlá výroba (Lean Manufacturing) je odvětví Lean Management, které uplatňuje metody řízení ve výrobě. Štlhlá výroba se soustředí na maximalizaci přidané hodnoty pro zákazníka. Zeštlhlování je cesta, jak docílit, aby podnik minimalizoval plýtvání a díky tomu vyráběl více, měl nižší náklady, efektivněji využil plochy a výrobní zdroje. Plýtváním se myslí všechno, co zvyšuje náklady výrobku bez toho, aby zvyšoval jejich hodnotu. Na následujícím obrázku 1, jsou graficky znázorněny typické příklady plýtvání ve výrobě.^{2, 6, 7, 8, 9}



Obr. 1 – Plýtvání ve výrobě⁸

Cílem štihlé výroby je mít tedy stabilní, kvalitní, standardizovanou a co nejlevnější výrobu. ^{2, 9, 10}

Metod a nástrojů používaných ve štíhlé výrobě je mnoho. Mezi ty nejznámější patří například:

- **JIT,**
 - Metodika zaměřena na řízení logistiky, snažící se minimalizovat skladové a dopravní náklady a zajistit dodání materiálu do výroby přesně v moment potřeby. ^{1, 11}
- **Kanban,**
 - Princip metody Kanban je takový, že se poskytují pouze ty komponenty (ze skladu, výroby), které jsou potřeba, v daném množství a čase, pomocí štítků, které obsahují veškeré potřebné informace. Často se využívá společně s JIT. ^{1, 12, 13}
- **Kaizen,**
 - Filosofie, která je zaměřena na neustále zlepšování, ve všech odvětvích (výroba, administrativa, personalistika) a u všech osob (operátor, manager). Kaizen je založen na tom, že každá osoba v organizaci může zlepšit výrobní proces. ^{1, 14}
- **5S,**
 - Sada principů pro vytváření a udržení organizovaného, čistého a vysoce výkonného pracoviště. Název vychází z počátečních písmen pěti japonských slov (seřadit, systematizovat, stále čistit, standardizovat, stále zlepšovat). ^{15, 16, 17, 18}
- **Poka-Yoke,**
 - Metodika zaměřena na prevenci lidských chyb. Tato metoda bude rozebrána detailně v následující podkapitole. ¹
- **TPM,**
 - Proces snažící se předvídat potřeby údržby a provést nezbytné kroky dříve, než se zařízení poškodí a ovlivní tím výrobu. TPM je komplexní přístup k efektivnímu provozu a údržbě zařízení, přípravků a podobně. ^{1, 19}
- **SMED,**
 - Metoda zaměřena na rychlou výměnu nástrojů a seřízení strojů. Hlavním cílem je snížení času na minimum (doslova z hodin na minuty). ²⁰
- **Six Sigma,**
 - Metoda využívaná pro zlepšování procesů a zvyšování kvality firmy. Principem metody Six Sigma je nevykazovat více než 3,4 defektů na milion případů. ^{21, 22}

2.2 Poka-Yoke

Název metodiky Poka-Yoke vychází z japonských slov POKA (chyba) a YOKERU (vyhnout se). Jak název napovídá, princip metody Poka-Yoke je prevence lidských chyb, neboli předejít chybě dříve, než vznikne. Metoda se velmi často používá ve výrobě jako přípravek, který brání dělníkovi udělat chybu. Zavedení Poka-Yoke stojí většinou velmi málo nákladů a náklady, které Poka-Yoke ušetří, díky prevenci chyb, jsou značné.^{23, 24, 25}

Když při výrobě dojde k chybě, tak je celkem běžné, že vedení přiřadí příčinu chyby operátorovi a problém řeší přeškolením operátora. Metodika Poka-Yoke neobviňuje operátora za vznik chyby, ale předpokládá, že když danou chybu mohl způsobit 1 operátor, může ji znovu způsobit kdokoli jiný. Pro vyřešení problému musí být nalezen způsob, jak zabránit dané chybě, aby znovu vznikla.¹

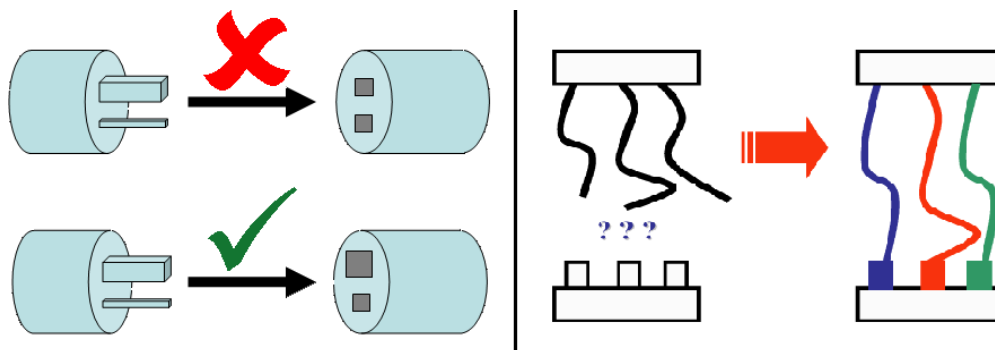
V dnešní době, především v automobilovém průmyslu, je již metodika Poka-Yoke samozřejmostí. V následující tabulce 1 jsou vypsány nejčastější lidské chyby, společně s příklady situací, které daná chyba může způsobit. Metodika Poka-Yoke se snaží daným chybám předejít a eliminovat je, díky jednoduchým úpravám, či přípravkům.^{23, 24, 25, 26}

Tabulka 1 – Nejčastější lidské chyby²⁷

Lidská chyba	Příklad chyby
Zapomětlivost	Vynechání operace.
Nepochopení, nedorozumění	Špatná výroba/montáž.
Chybná identifikace	Nesprávné vyhodnocení situace (např. upínání nového kusu).
Nedostatek zkušeností	Chybějící díl, špatná výroba.
Vědomé ignorování standardů	Špatný díl.
Nedbalost, nepozornost	Nesprávné provedení operace.
Pomalost, těžkopádnost	Nenastavené (naprogramované) zařízení.

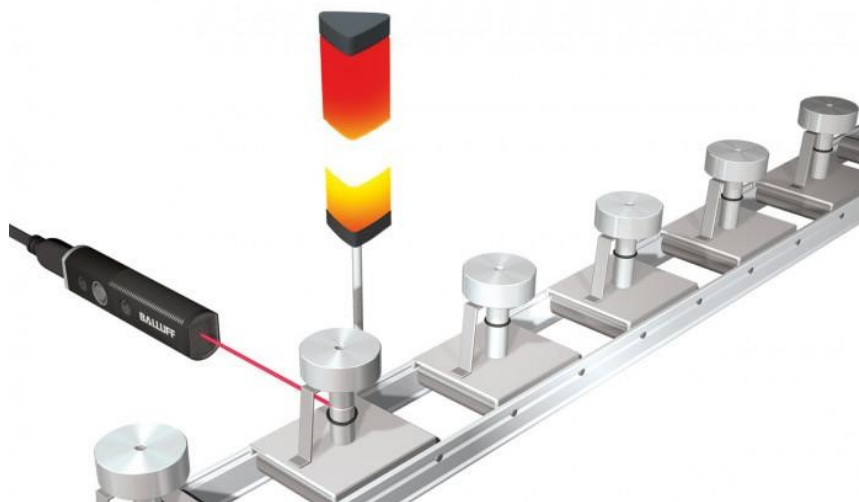
Metodika Poka-Yoke se nejlépe pochopí na příkladech. Jako první příklad lze uvést způsob, jakým jsou vyráběny počítače (notebooky) a jejich porty, které jsou vymyšleny tak, aby příslušné konektory šly zastrčit pouze jedním správným směrem do příslušného portu. Veškeré porty a jejich příslušné konektory mají odlišný tvar a jinou barvu, aby nedošlo k omylu, že by se do daného portu zastrčil nesprávný konektor.¹

Další příkladem můžou být zásuvky a elektrické rozvody. Zásuvky jsou vymyšleny tak, aby šly zastrčit pouze jedním směrem. Taktéž elektrické rozvody, k zabránění nesprávného zapojení drátu slouží barevné rozlišení, které brání možné chybě (obr. 2).²⁸



Obr. 2 – Příklad Poka-Yoke v elektronice²⁸

Příkladem využití Poka-Yoke v hromadné výrobě, je využití různých čidel a snímačů. V případě, že by operátor založil špatný díl, snímač detekuje odlišnost od etalonu, který má naprogramován a hlásí chybu (obr. 3). Operátor následně chybu zkontroluje a výroba může pokračovat. V případě, že by čidlo hlásilo nesprávnou informaci, tak se nic nestalo, pouze se na pár sekund zastavila výroba. Na druhou stranu, jestli čidlo zahlásilo opravdu špatný výrobek, zabránilo tak ve výrobě vadného kusu, poškození stroje nebo dokonce ztrátě zákazníka, ke kterému by se daný vadný kus mohl dostat.²⁴



Obr. 3 – Příklad Poka-Yoke v hromadné výrobě²⁹

Výhody využití metody Poka-Yoke:

- minimalizování nebo předejití chyb a neshod,
- operátor se může soustředit na operace, které přidávají hodnotu zákazníkovi, spíše než ztrácet čas přemýšlením nad tím, jak zabránit chybám, kontrolovat, opravovat apod.,
- zlepšení kvality a odstranění zdroje chyb (levnější a účinnější než provádět kontrolu kvality na dokončeném výrobku, kde se daný problém stejně neodstraní),
- snadná a levná implementace.²⁸

3 Analýza současného stavu

V této kapitole bude nejdříve stručně představena firma a závod, ve kterém je problém řešen. Následovat bude detailní popis a analýza daného výrobku a procesu.

3.1 Představení společnosti

Firma Continental Automotive Czech Republic s.r.o. je součástí koncernu Continental AG, který je jedním z nejvýznamnějších dodavatelů v automobilovém průmyslu.

Koncern Continental AG zahrnuje následující závody:

- závod Frenštát pod Radhoštěm,
- závod Jičín,
- závod Brandýs nad Labem I,
- závod Brandýs nad Labem II,
- závod Adršpach,
- závod Trutnov,
- vývojové centrum v Ostrava – Hrabová.³⁰

Firma Continental Automotive Czech Republic s.r.o., byla zapsána do obchodního rejstříku 2. srpna 1994, s právní formou společnost s ručením omezeným. Na následujícím obrázku 4 je znázorněno aktuální logo firmy, se 3 barevnými příklady.³¹



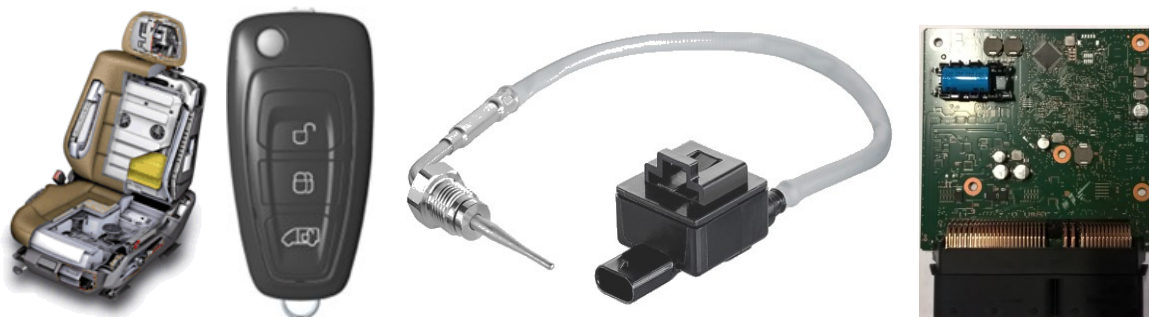
Obr. 4 – Logo společnosti Continental Automotive Czech Republic s.r.o.³²

ZÁKLADNÍ ÚDAJE

- Datum zápisu: 2. srpna 1994
- Obchodní firma: Continental Automotive Czech Republic s.r.o.
- Sídlo: Hradecká 1092, Valdické Předměstí, 506 01 Jičín
- Identifikační číslo: 62024922
- Právní forma: Společnost s ručením omezeným
- Základní kapitál: 918 000 000,- Kč
- Předmět podnikání:
 - Vývoj a projekce, montáž, výroba a prodej součástí pro původní vybavení a náhradní díly automobilů,
 - zámečnictví, nástrojařství,
 - klempířství a oprava karoserií,
 - opravy silničních vozidel a další.
- Jednatelé:
 - Ing. Ladislav Drážný,
 - Zdeněk Przybyla,
 - Ing. Lukáš Rosůlek,
 - Bernd Kapp.
 - Počet členů: 4

Veškeré výše zmíněné informace jsou veřejně dostupné v obchodním rejstříku.³¹

Společnost má velmi široký výrobní sortiment a každý závod má zaměření na jinou specializaci. Všeobecně je hlavním výrobním programem výroba součástek pro automobilový průmysl. Na následujícím obrázku 5 je příklad výrobků ze závodu Frenštát pod Radhoštěm.



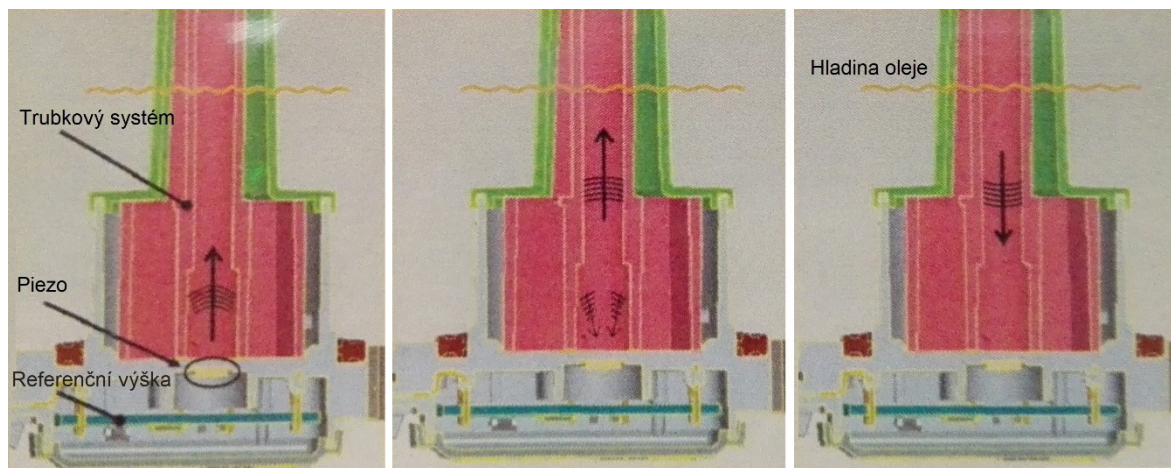
Obr. 5 – Příklad výrobků ze závodu Frenštát pod Radhoštěm³³

Výrobní sortiment závodu Frenštát pod Radhoštěm:

- elektronické systémy karoserií pro přístrojové desky a pro řízení motorů,
- senzory teplotní, rychlostní a polohové, pneumatické sedačkové systémy.³⁰

3.2 Popis výrobku

Jak název výrobku napovídá, ultrazvukový senzor slouží pro měření hladiny a teploty oleje motoru. Následující obrázek 6 znázorňuje princip výrobku. Výrobek vyše ultrazvukový signál, který se odrazí od hladiny oleje. Podle výšky, ve které se vyslaný signál odrazí, se zjistí daná hladina a teplota oleje.³³

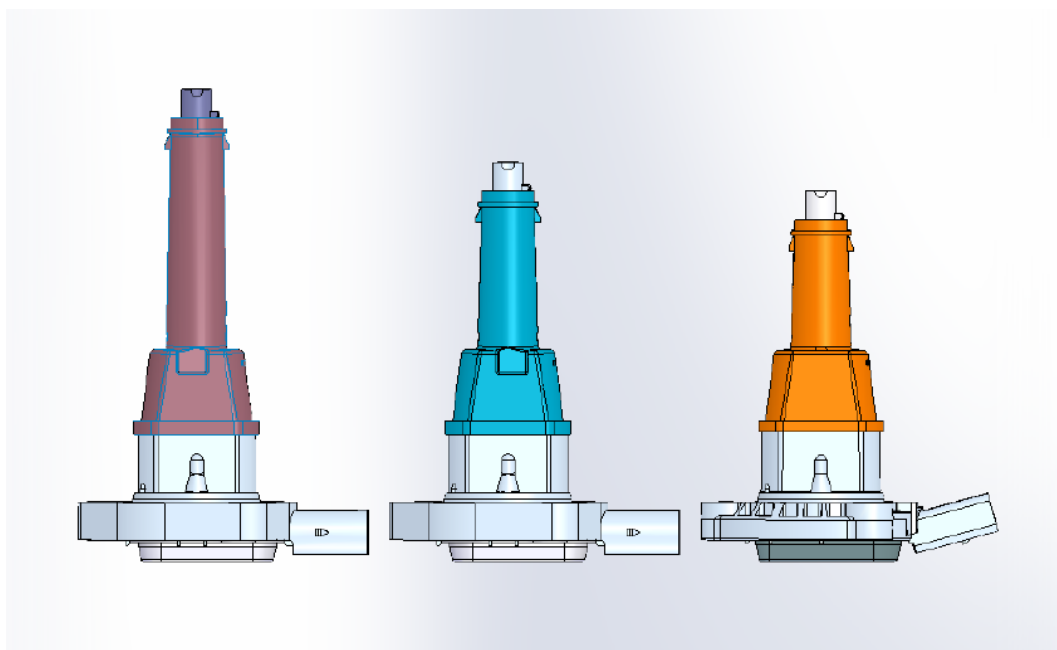


Obr. 6 – Popis funkce výrobku³³

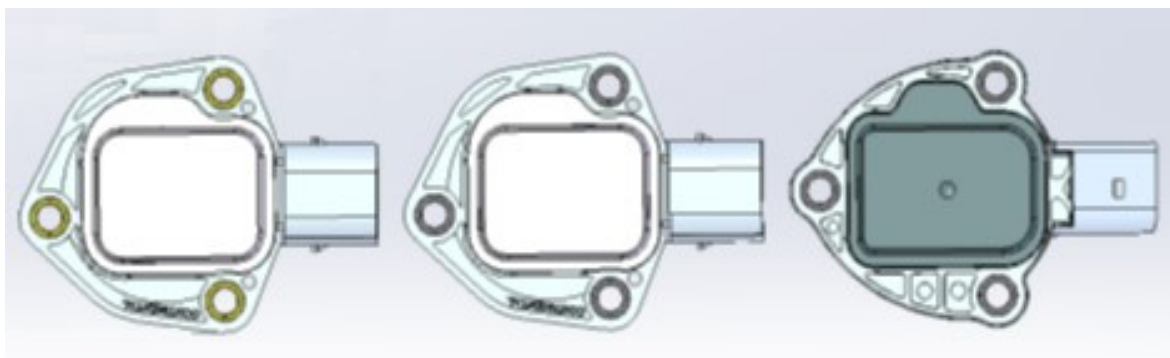
Výrobek se vyrábí celkem ve 3 variantách, které jsou:

- 132 mm,
- 109 mm,
- 100 mm.

Rozdíly výše zmíněných variant lze pozorovat na obrázcích 7–8, kde je viditelný rozdíl především ve výšce a změně designu spodní části (housingu).

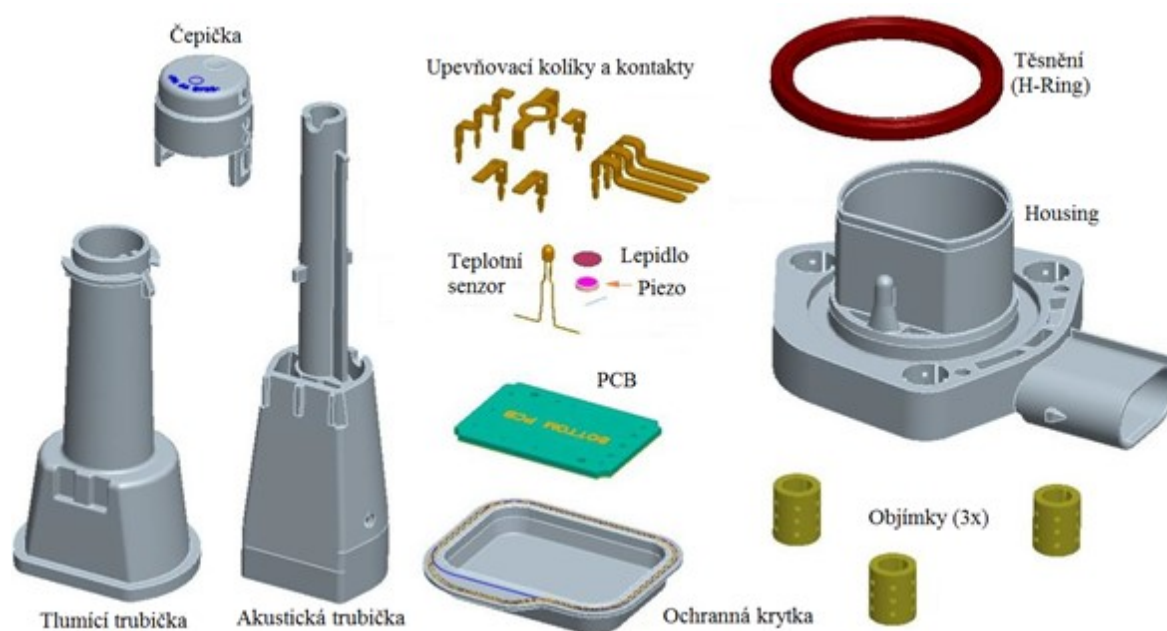


Obr. 7 – Vyráběné varianty³³



Obr. 8 – Rozdíl v designu housingu³³

Ultrazvukový senzor se skládá z mnoha součástek, které se dále sestavují do větších sestav, až vznikne výsledný výrobek. Kompletní výrobní proces bude popsán v další podkapitole, nyní jsou popsány pouze ty nejdůležitější části senzoru (obr. 9), které jsou důležité pro výrobní proces problematické linky.



Obr. 9 – Komponenty ultrazvukového senzoru³³

Výsledný výrobek se skládá z následujících komponentů:

- základna (Housing),
- těsnění (H-Ring),
- akustická trubička,
- tlumicí trubička,
- čepička,
- objímky,
- deska plošných spojů (PCB),
- ochranná krytka,
- upevňovací kolíky a kontakty,
- senzory.³³

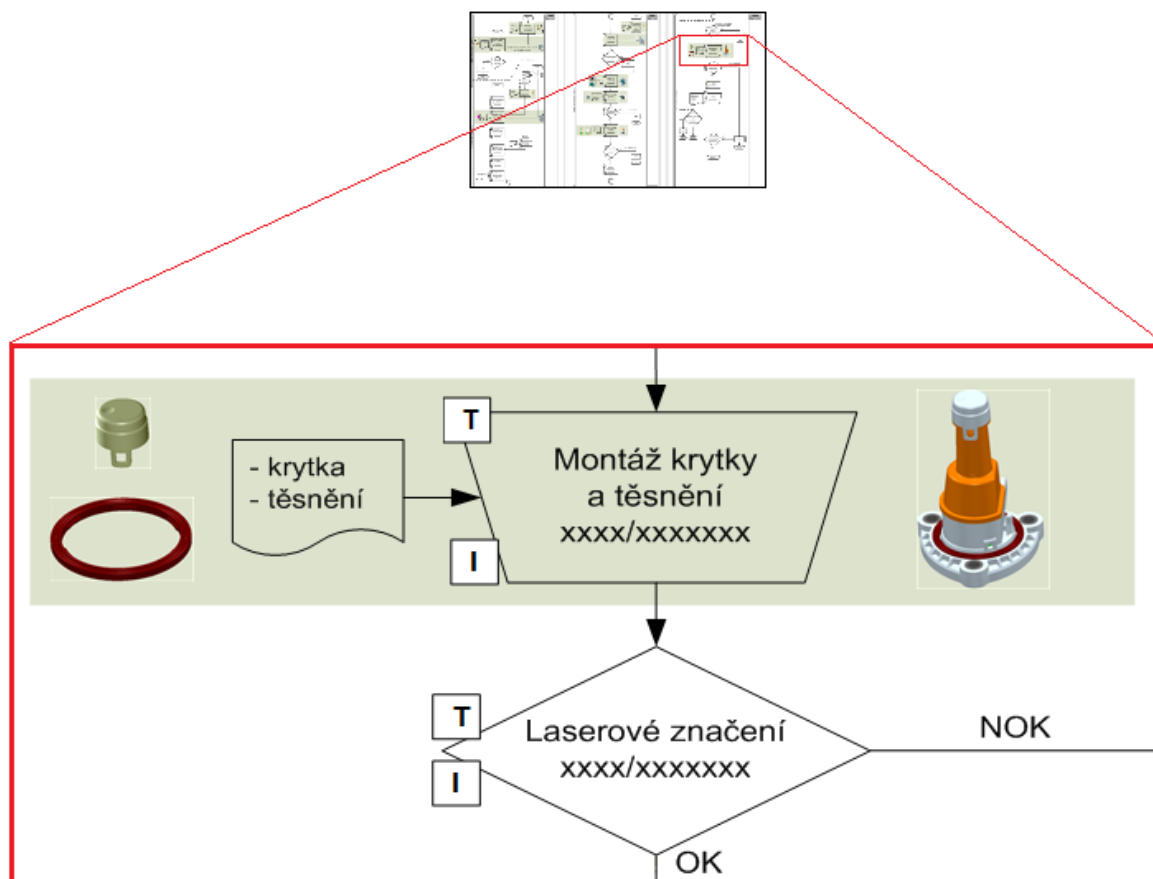
Na následujícím obrázku 10, je ukázka výsledného ultrazvukového senzoru ve všech 3 vyráběných variantách.



Obr. 10 – Příklad výrobku senzoru ze závodu Frenštát pod Radhoštěm ³²

3.3 Popis procesu

Na obrázku 11 je znázorněn výtažek z kompletního procesu výroby ultrazvukového senzoru. Pro diplomovou práci je důležitý pouze zvýrazněný podproces montáže čepičky a těsnění.

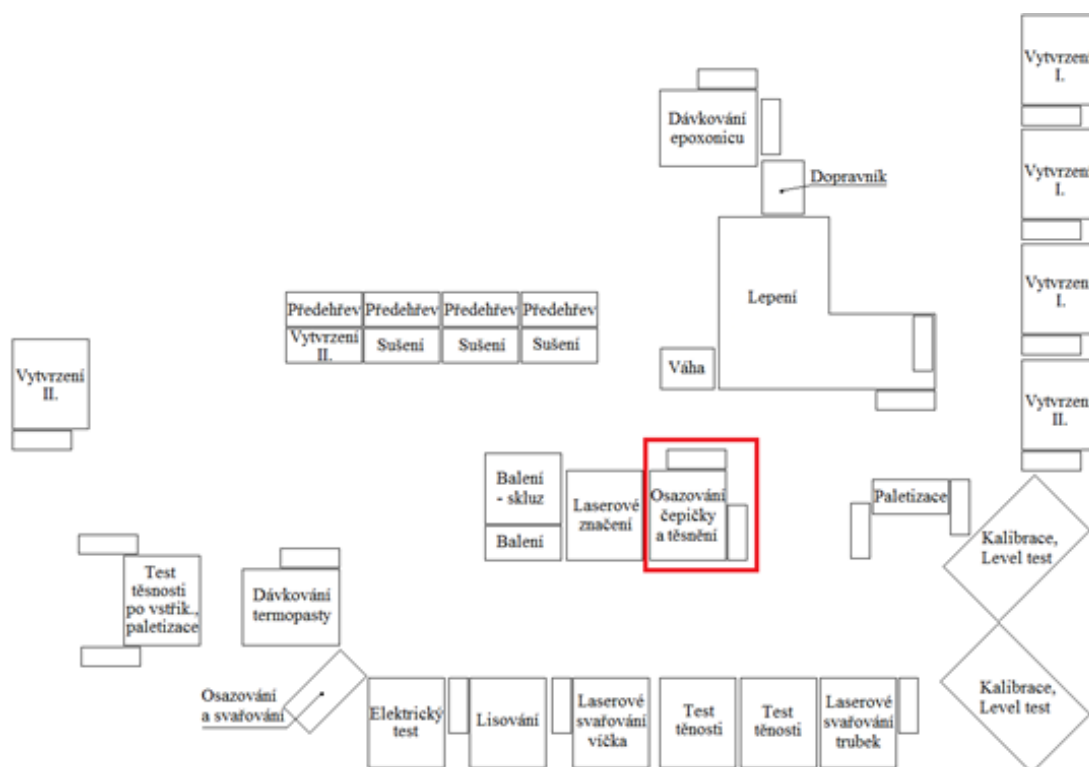


Obr. 11 – Výtažek z mapy procesu výroby ultrazvukového senzoru ³³

Z mapy procesu je patrné, že proces výroby začíná na lince, kde se připravují veškeré kontakty. V následujícím kroku probíhá vstřikování housingu. Proces pokračuje testem těsnosti, společně s vyhodnocením a následným stárnutím výrobku. Po předehřevu housingu následuje proces osazování pieza a horního kontaktu. Další kroky zahrnují vytvrzování, zalévání pieza, další vytvrzování, dávkování teplo-vodivé pasty, osazování a navařování, lisování a laserové svařování krytu. Jakmile proběhne kalibrace, testování a sušení, nastává proces osazování čepičky a těsnění (zvýrazněno na obr. 11). ³³

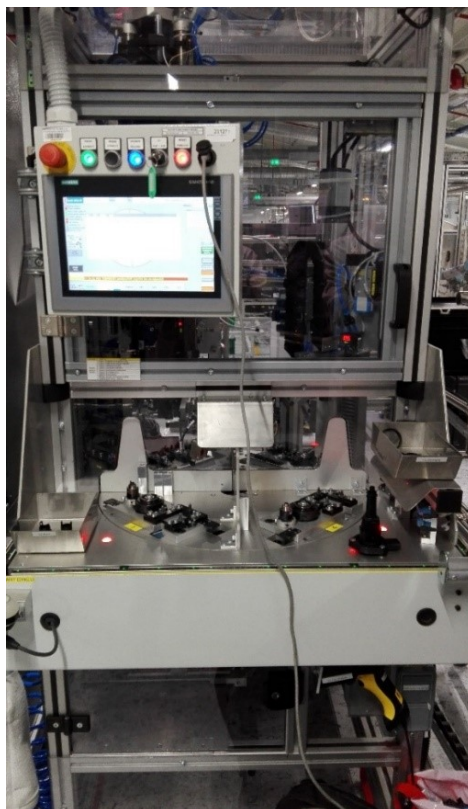
Toto je proces, kterým se bude diplomová práce dále detailněji zabývat, jelikož se jedná o úzké místo (více v další kapitole). Těsnění dodává externí dodavatel. Po provedení montáže krytky a těsnění proces výroby pokračuje ještě na laserové značení, balení a po provedení závěrečných testů a analýz se proces uzavírá přejímkou hotových výrobků. ³³

Na dalším obrázku 12 je znázorněn schematicky layout pracoviště výroby ultrazvukového senzoru (červeně zvýrazněn podproces montáž krytky a těsnění).



Obr. 12 – Layout pracoviště výroby ultrazvukového senzoru ³³

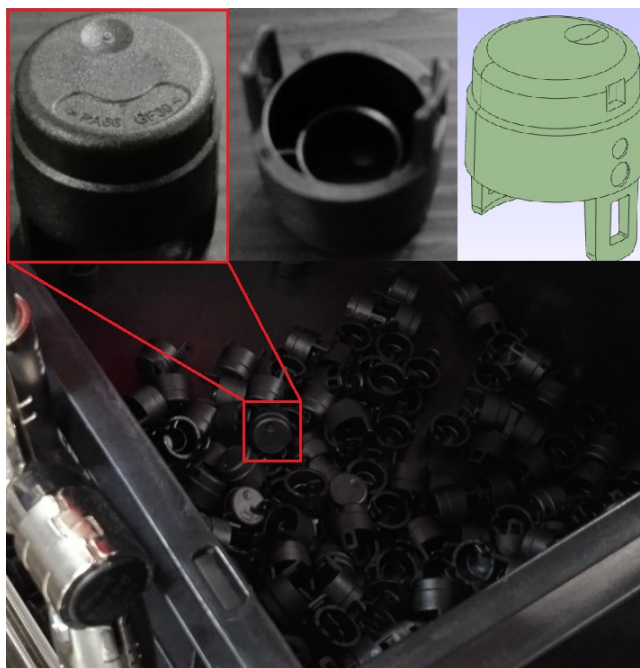
Obrázek 13 znázorňuje podproces montáže krytky a těsnění z procesu výroby ultrazvukového senzoru. Zařízení je určeno pro montáž čepičky a těsnění na housing.



Obr. 13 – Proces montáž krytky a těsnění

Do procesu montáž krytky a těsnění vstupují následující komponenty:

- čepička (obr. 14),



Obr. 14 – Vstupní komponent čepička (cap)

- housing s navařenou trubičkou (obr. 15),



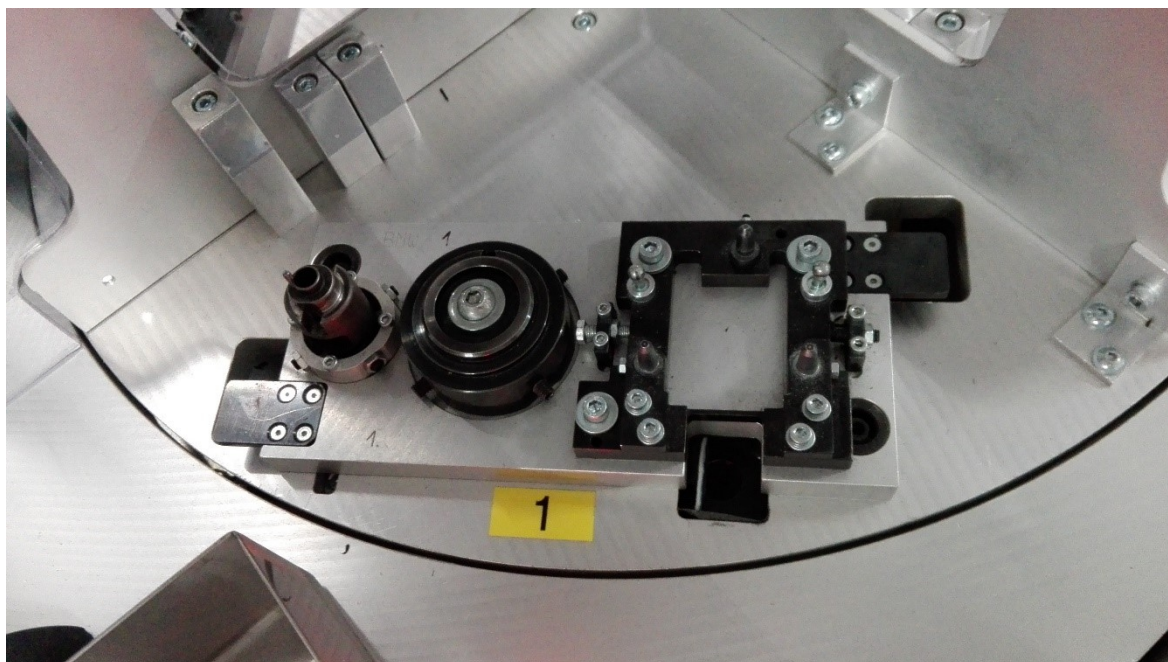
Obr. 15 – Vstupní komponent housing

- těsnění (obr. 16).



Obr. 16 – Vstupní komponent těsnění (H-Ring)

Zařízení má celkem 4 pozice na otočném stole. Na každé pozici je lůžko (obr. 17), které se skládá ze 3 částí. V levé části se zakládá čepička, uprostřed těsnění a na pravé straně housing s navařenou trubičkou (dále jen housing).



Obr. 17 – Lůžko pro založení vstupních komponentů

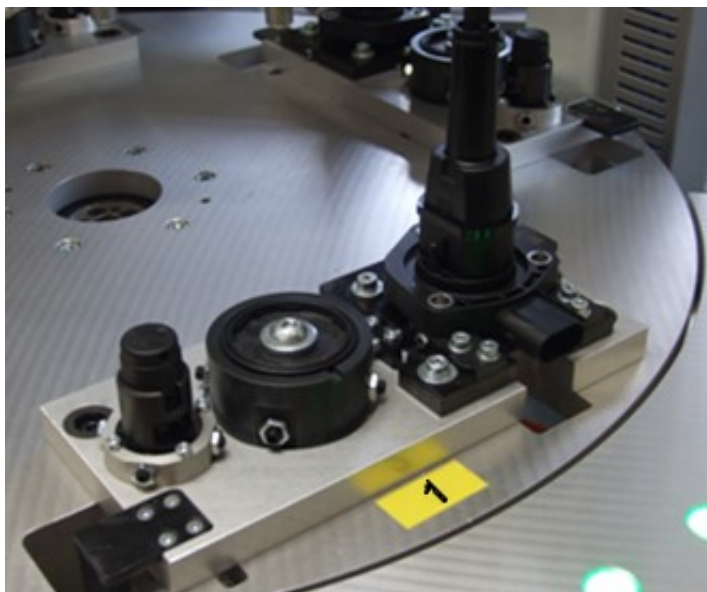
Lůžko obsahuje prvky Poka-Yoke, aby nedošlo ke špatnému založení vlivem nepozornosti operátora. Zařízení lze spustit pouze, když je všech 5 podmínek správného založení splněno (obr. 18). Podmínky spuštění jsou:

- správné založení čepičky,
- správné založení těsnění,
- správné založení housingu,
- založení správné varianty housingu (signalizace na ovládacím panelu),
- odebrán výrobek z pozice 4.³³



Obr. 18 – Prvky Poka-Yoke

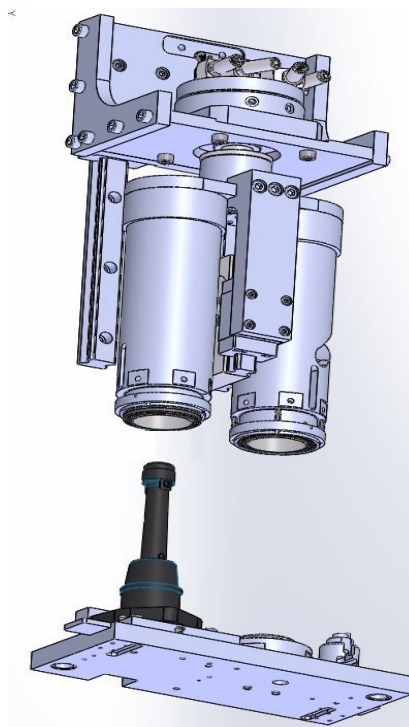
Pozice 1 = zde dochází k založení vstupních komponentů do lůžka (obr. 19).



Obr. 19 – Správné založení vstupních komponentů na pozici 1

Pozice 2 = zde dochází k osazení čepičky na housing. Manipulátor sjede dolů pro krytku, kterou pomocí vakua nabere. Poté se přesune do osazovací pozice, kde při pohybu dolů osadí čepičku na housing. ³³

Pozice 3 = zde dochází k osazení a zatlačení těsnění do housingu (obr. 20). Součástí pozice 3 je čidlo, které kontroluje správné osazení. V případě špatného osazení manipulátor odebere NOK výrobek do RED boxu. ³³



Obr. 20 – Osazování těsnění na pozici 3 ³³

Pozice 4 = slouží k odebrání OK výrobku.

4 Identifikace úzkých míst a problémů

V této kapitole budou identifikována úzká místa stanice a specifikovány a vysvětleny problémy, které s tím souvisí.

4.1 Úzká místa stanice

Jak již bylo zmíněno dříve, stanice montáže krytky a těsnění je v procesu výroby ultrazvukového senzoru úzkým místem. Poukazují na to především neustálé stížnosti na poruchovost stanice, vysoká zmetkovitost a neschopnost plnění plánů výroby.

Příčinou neplnění plánů výroby je především vysoký Cycle Time a poruchovost. Cycle Time je problémem celého zařízení, ale poruchovost je problémem především pozice 3.

Vysoká zmetkovitost je dána jak poruchovostí, tak programem, který ovládá stanici. V případě, že se na stanici naskytne jakákoliv chyba, která by způsobila vypnutí dodávky vzduchu, tak zařízení automaticky vylučuje 1–2 kusy do RED boxu jako NOK kusy, aby se zabránilo tomu, že by zákazník dostal nekvalitní výrobek.

Bohužel poruchovost je vysoká a někdy je příčina triviální (např. zpoždění osazení o 0,1 sec vlivem variace přívodu tlaku) a tím pádem do RED boxu spadají výrobky, které jsou v pořádku, ovšem nemohou být použité dále, protože na stanici došlo k chybě a tím se zvyšuje zmetkovitost. V následující podkapitole budou rozebrány a detailně popsány jednotlivé problémy.

4.2 Problémy

Zařízení má více problémů, které byly rozděleny dle významnosti. Nejvyšší význam se přikládá problémům, které mají přímý dopad na zákazníka nebo způsobují významnou ztrátu firmě. Menší významnost se přikládá problémům, které nemají přímý dopad na zákazníka a ztráty které způsobují, nejsou tak významné.

Jako doplněk jsou popsány i možnosti zlepšení, to jsou problémy na zařízení, které nejsou nijak významně důležité, ale jejich vyřešení by vedlo k úspoře nákladů, lepší ergonomii a tím k lepším výkonům operátorů, údržby a podobně. V následující tabulce 2 jsou vypsány známé problémy se zařízením.

Tabulka 2 – Problémy se zařízením

Problémy se zařízením		
Číslo	Název problému	Stručný popis
Významné problémy		
1	Otřepy	Těsnění má často nepřijatelné otřepy.
2	Useknutý praporek	Utržený kousek z těsnění (z vnitřní strany).
3	Zvlnění	Velmi často je těsnění nedotlačené (zvlněné) a musí se ručně dotlačit.
4	Částečné osazení	Případ, kdy je těsnění osazeno, ale v nějakém místě není osazeno vůbec.
5	Neosazeno vůbec	Případ kdy těsnění není osazeno vůbec.
6	Cycle Time	Je snaha snížit CT.
Méně významné problémy		
7	MES	Komunikace s program MES je problematická a zdloouvá.
8	Čidlo na hlídání	Je potřeba přidat čidlo na hlídání vložených komponentů (Poka-Yoke).
Detaily (možnosti zlepšení)		
9	Nepevnost lůžka	Někdy se lůžko pro zakládání komponentů na pozici 4 vytáhne i s produktem.

1 Otřepy

Z výkresu těsnění lze vyčíst, že těsnění má povolené otřepy až 0,2 mm (příklad otřepů je na obr. 21). Vzhledem k tolerancím, které jsou pravděpodobně špatně nastavené, by osazování těsnění dělalo problémy, i kdyby bylo dokonale bez otřepů.



Obr. 21 – Otřepy na těsnění

Ve skutečnosti jsou otřepy v horším stavu, než výkres povoluje. Příklad je znázorněn na obrázku 22. Nově dodávané těsnění má mnohem horší kvalitu, než mělo dříve. Otřepy všeobecně zhoršují proces osazování a jsou-li otřepy příliš velké, může to mít za následek vznik zvlnění, useknutou hranu, či dokonce úplné neosazení. Cílem je tedy odstranit povolené otřepy na minimum.



Původní těsnění



Nové těsnění

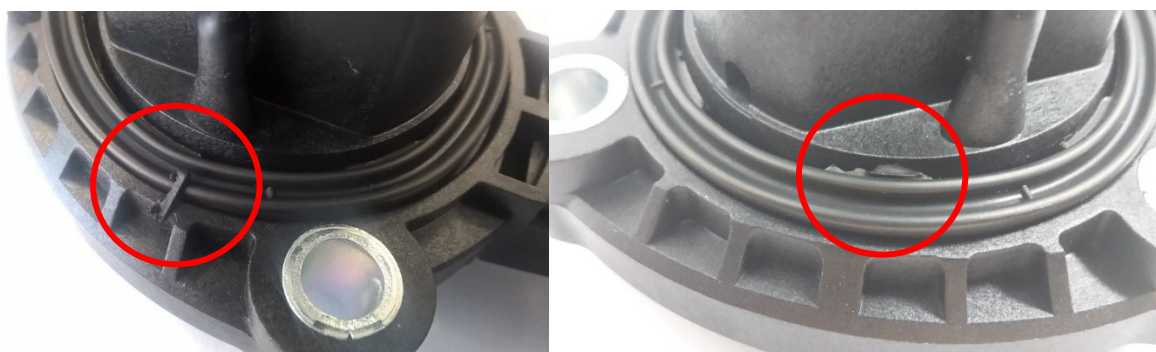
Obr. 22 – Porovnání původní kvality těsnění s nynější

Možné příčiny:

- nekvalitní vstupní materiál.

2 Useknutý praporek

Další problém týkající se těsnění, především krátkého praporku uvnitř H-Ringu. V některých případech docházelo k nastříhnutí, poškození nebo v nejhorších případech k úplnému useknutí daného praporku (obr. 23).



Obr. 23 – Useknutý praporek

Možné příčiny (společné pro problémy 2–5):

- nekvalitní vstupní materiál,
- rychlost osazování,
- metoda osazování/zažehlování,
- nesouosost a nepřesnost,
- design drážky/hrany.

3 Zvlnění

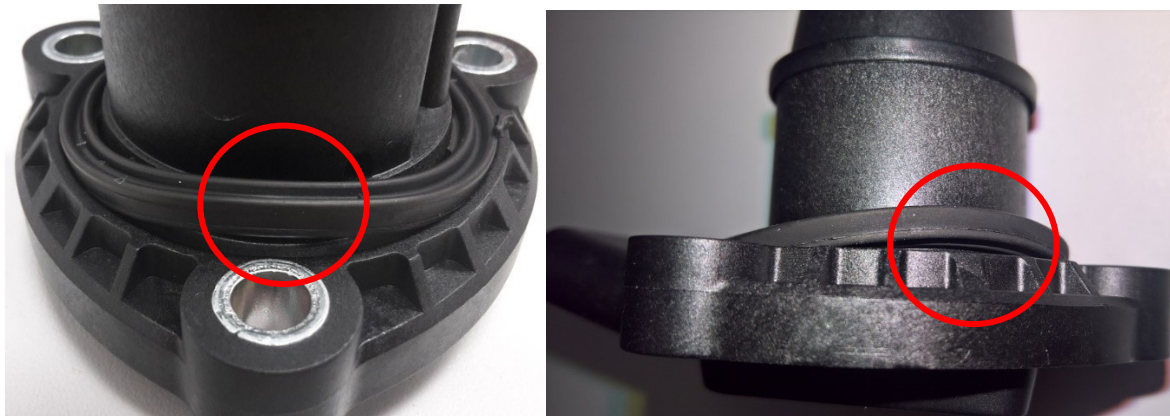
Velmi často je těsnění nedotlačené (zvlněné) a musí se ručně dotlačit. Za zvlnění se považuje případ, kdy je těsnění osazeno po celém obvodu, ale v nějaké části není osazení ideální a musí se ručně dotlačit. Příklad zvlnění je na následujícím obrázku 24.



Obr. 24 – Příklad zvlnění

4 Částečné osazení

Taktéž velmi častý případ, kdy je těsnění osazeno z velké části, ale zpravidla v jednom místě není osazeno vůbec. Za částečné osazení se považuje případ, kdy lze pozorovat mezeru pod těsněním v místě, kde není těsnění osazeno (obr. 25).



Obr. 25 – Příklad částečného osazení

5 Neosazeno vůbec

Vzácný případ, kdy těsnění není osazeno vůbec a výrobek není oddělán do RED boxu jako NOK, ale přijede na pozici 4 jako OK kus. Příklad žádného osazení je na obrázku 26.



Obr. 26 – Příklad neosazení vůbec

6 Cycle Time

Cílem bude snížit CT na cílovou hranici 8,4 sec (původně bylo až 18 sec). Z pozorování a dotazování bylo zjištěno, že při vyřešení problému s MES programem, by se ušetřil čas. Taktéž pozici 2 lze lépe konstrukčně vyřešit a mohl by se díky tomu výrazně zkrátit Cycle Time.

7 MES

Komunikace s programem MES je problematická a zdoluhavá. Po zmáčknutí START tlačítka se čeká někdy 1–3 sec na komunikaci mezi strojem a MES programem. Také se stává, že MES zapíše špatné hodnoty do systému a ten následně vyhodí výrobek jako NOK i když je výrobek v pořádku.

8 Čidlo na hlídání

Je potřeba přidat čidlo na hlídání vložených komponentů (Poka-Yoke), aby nedošlo ke spuštění stroje, aniž by byly založeny správně vstupní komponenty. Někdy se totiž stane, že z nepozornosti operátor vyjme hotový výrobek z pozice 4 a vrátí ho znovu na pozici 1. Programátor pravděpodobně danou situaci nepředvídal, a tudíž prvky Poka-Yoke selhávají a zařízení pustí již osazený výrobek znovu do procesu osazování.

9 Nepevnost lůžka

Někdy (výjimečně, ale přesto) se lůžko pro zakládání komponentů na pozici 4 vytáhne i s produktem vlivem těsného ustavení a třecích sil a následně se zbytečně volá údržba, na opravu chyby, která trvá například 1–5 minut. Vzhledem k tomu, že údržba nemá vždy čas a musí řešit jiné problémy, může se stát, že zařízení bude stát i delší dobu. Vyřešení tohoto triviálního problému povede k úspoře kapacit, času a financí.

5 Cíle optimalizace zařízení

Jak již bylo nastíněno v předešlé kapitole, cílem optimalizace zařízení je odstranit anebo vymyslet, jak odstranit veškeré problémy spojené se zařízením. Odstranění problémů povede k lepší kvalitě výrobků, k významné úspoře nákladů pro firmu a k výrazné úspoře kapacit techniků, údržby, operátorů, vedoucích výroby a všem ostatním, kteří se podílí na provozu zařízení.

Cíle optimalizace zařízení jsou:

- ověřit zdali otřepy zhoršují proces osazování,
- odstranit problémy s osazováním (zvlnění, částečné a úplné neosazení),
- odstranit problém s poškozováním praporků,
- snížit Cycle Time,
- optimalizovat komunikaci s MES programem,
- optimalizovat bezpečnostní prvky (Poka-Yoke),
- vylepšit prvky zařízení, které komplikují výrobu.

6 Návrh řešení

Tato kapitola se zaměřuje na praktickou část neboli na vyřešení problémů, které byly zmíněné v předešlých kapitolách. V první části budou detailně popsány návrhy, jak jednotlivé problémy vyřešit. Další krok je zaměřen na realizaci jednotlivých návrhů, společně s praktickým testováním.

V poslední části budou uvedeny návrhy alternativních řešení, jelikož se nemusí podařit vyřešit všechny problémy z různých důvodů (například z finančních důvodů, kapacitních důvodů nebo problém přetrvá i po aplikování návrhu na vyřešení a podobně), a tak se uvedou alternativní řešení pro případ, kdyby se to řešilo někdy v budoucnu nebo by linka dostala vyšší prioritu a firma byla ochotna do linky více investovat.

V následujícím kroku se pro jednotlivé problémy uvedly návrhy řešení stanovených problémů (tabulka 3).

Tabulka 3 – Problémy se zařízením

Problémy se zařízením		
Číslo	Název problému	Stručný popis
Významné problémy		
1	Otřepy	Těsnění má často nepřijatelné otřepy.
2	Useknutý praporek	Utržený kousek z těsnění (z vnitřní strany).
3	Zvlnění	Velmi často je těsnění nedotlačené (zvlněné) a musí se ručně dotlačit.
4	Částečné osazení	Případ, kdy je těsnění osazeno, ale v nějakém místě není osazeno vůbec.
5	Neosazeno vůbec	Případ kdy těsnění není osazeno vůbec.
6	Cycle Time	Je snaha snížit CT.
Méně významné problémy		
7	MES	Komunikace s program MES je problematická a zdlouhavá.
8	Čidlo na hlídání	Je potřeba přidat čidlo na hlídání vložených komponentů (Poka-Yoke).
Detaily (možnosti zlepšení)		
9	Nepevnost lůžka	Někdy se lůžko pro zakládání komponentů na pozici 4 vytáhne i s produktem.

1 Otřepy

Z popisu z předešlé kapitoly je zřejmé, že problém u otřepů bude vstupní materiál. Otřepy výrazně zhoršují průběh osazování. Problém je o to horší, že jsou otřepy dle výkresu povolené až do rozměru 0,2 mm. Je tedy nutné udělat testy rozměru a zkontrolovat tolerance, aby se zjistilo, zdali není chyba již v prvotním návrhu a v případě, že by těsnění mělo jakékoliv otřepy, tak by se osazování stalo nereálné.

Výsledek testu rozměru nám řekne, zdali je nutné prodiskutovat změnu designu těsnění anebo drážky pro těsnění.

V dalším kroku je třeba si potvrdit hypotézu, že otřepy doopravdy zhoršují osazování. Pro tento test se použijí 2 typy těsnění (obr. 27). První druh bude těsnění nejvyšší kvality, kde otřepy budou ručně odstraněny skalpelem. Druhý druh těsnění bude klasické těsnění z výroby.



Obr. 27 – Porovnání těsnění nejvyšší kvality bez otřepů (vlevo) s běžným těsněním

Při testu bude provedena 100% vizuální kontrola vstupních prvků, aby se zabránilo vložení již nepříjemných těsnění, což by ovlivňovalo výsledek testu. Test bude provádět jeden proškolený operátor, aby nedošlo ke zkreslení výsledků vlivem změny operátora.

Výsledek druhého testu nám potvrdí, zdali mají otřepy negativní vliv na proces osazování a v případě, že by tomu tak doopravdy bylo, je nutné zajistit, aby se dodávaly těsnění bez otřepů.

Soupis testů, které budou provedeny v další kapitole, společně s podmínkami za kterých budou provedeny, jsou sepsány v tabulce 4.

Tabulka 4 – Úkoly pro problém s otřepy

Název úkolu	Podmínky a specifikace
Test rozměru	- zjistit, zdali rozměry těsnění z výkresu souhlasí se skutečnými rozměry těsnění
Test 2 typů těsnění	- vyzkoušet osazování 2 typů těsnění a porovnat výsledky 1 typ = běžné těsnění 2 typ = těsnění nejvyšší kvality bez otřepů - při vkládání vstupních prvků provést 100% vizuální kontrolu - test bude provádět 1 proškolený operátor

2–5 Useknutý praporek, zvlnění, částečné a žádné osazení

Problémy 2–5 spolu úzce souvisí, takže nemá smysl dělat testy pro jednotlivé problémy zvlášť. Veškeré problémy se budou hodnotit současně. Pro všechny testy bude platit, že bude provedena 100% vizuální kontrola vstupních prvků, aby se zabránilo vložení již nepřijatelných těsnění a výsledky testů nebyly ovlivněny. Testy bude provádět jeden proškolený operátor, aby nedošlo ke zkreslení výsledků vlivem změny operátora.

V první řadě se provede test tření. Materiál se skládá ze 2 složek, ale poměr není přesně stanoven a při každé výrobě se poměr složek mění. Z předešlých zkušeností výroby se zjistilo, že někdy je těsnění hladší a lépe se osazuje a někdy je zase povrch těsnění hrubý a nejde vůbec osazovat. To má spojitost se složkami, ze kterých se těsnění skládá.

V následující tabulce 5 jsou vypsány veškeré složky těsnění a jejich procentní podíl ve finálním produktu.

Tabulka 5 – Podíl složek těsnění

Název látky [–]	Podíl [%]	Povolený podíl (od–do) [%]
Saze	37,118	35–41
ACM	58,529	55–65
Ostatní přísady	4,353	4–5

Pro tento test se vyzkouší 3 druhy těsnění. První bude klasické těsnění z výroby, denně používáno. Druhé bude těsnění nejvyšší kvality, bez otřepů a s nejkvalitnějším povrchem pro osazování. Poslední druh těsnění bude od nového externího dodavatele, který používá jinou metodu výroby a odlišné složení těsnění (obr. 28).



Obr. 28 – Porovnání těsnění pro test tření (těsnění z leva: nejvyšší kvality, běžné, nové)

Druhý test pro tření bude vycházet částečně z výsledků z testu 1, ze kterého se vezmou data pro klasické těsnění a ty se následně porovnají s dalšími 2 druhy osazování. První druh osazování bude osazování běžným těsněním z výroby, ale mazaným PTFE sprejem a pro druhý druh bude stejný druh těsnění mazáno silikon sprejem (obr. 29).



Obr. 29 – Použité mazivo pro druhý test tření

Výsledek druhého testu tření stanoví, jaký má vliv mazání povrchu na proces osazování, zdali má smysl a jestli je třeba provádět nějaké změny.

Další test se zaměří na rychlost osazování, jelikož by změna rychlosti mohla mít spojitost s useknutým praporkem. Rychlost osazování se reguluje pomocí ručního ventilu, takže jsou pouze 2 možnosti nastavení rychlosti, a to osazování pomalé a rychlé. Výsledek

testu rychlosti osazování nám řekne, zdali má rychlost osazování vliv na stanovené problémy.

Následující test se zaměří na problém se zažehlováním. Po meetingu s týmem a detailní diskuzi, jsme se s týmem shodli, že zažehlování v koncové poloze není ideální řešení a že v případě drsnějšího povrchu těsnění (vlivem variability chemického složení) může mít zažehlování v koncové poloze dokonce negativní efekt a to takový, že místo zažehlení, nástroj vlivem vysokého tření dané těsnění poškodí.

Mnohem lepší řešení je dle diskuze varianta, začít se zažehlováním již při pohybu dolů, přesněji v místě, kde začíná problematická hrana (obr. 30). Toto řešení je, ale prozatím nemožné, jelikož stroj danou metodu neumožňuje. Proto je nutné prodiskutovat s výrobcem zařízení konstrukční změnu, aby to zařízení umožňovalo.



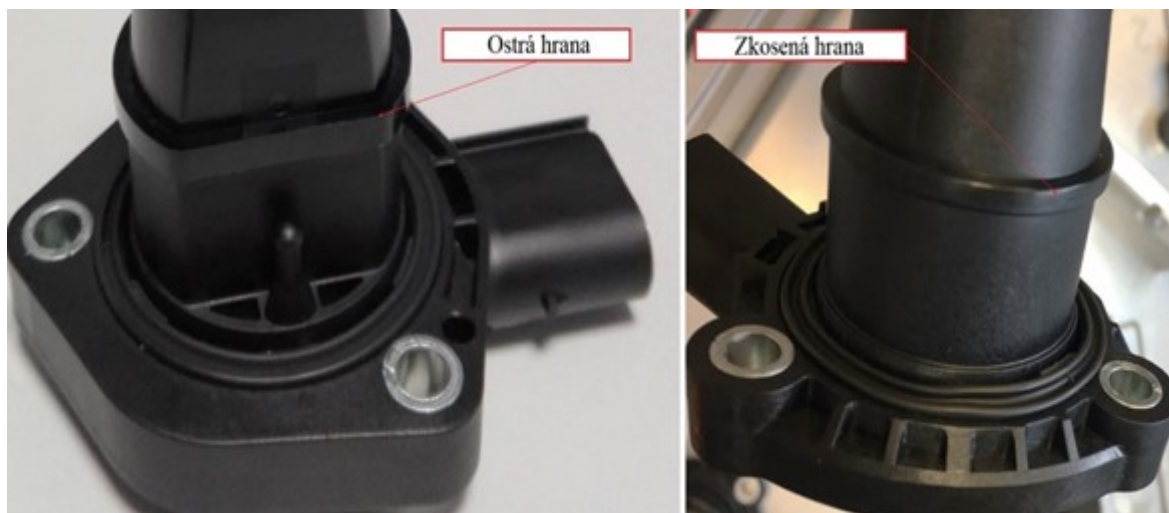
Obr. 30 – Teoretický start pro nový druh zažehlování

Jakmile bude změna zařízení hotova, provedou se testy, kde se zkusí osazovat nejdříve bez zažehlování, dále se zažehlováním v koncové poloze jedenkrát, vícenásobné zažehlování v koncové poloze, a nakonec se provede zažehlování během pohybu dolů. Výsledek testu nám prozradí vliv zažehlování na proces.

V dalším kroku se probere s dodavatelem změna nástroje, jelikož i změna designu nástroje by mohla mít vliv na proces osazování.

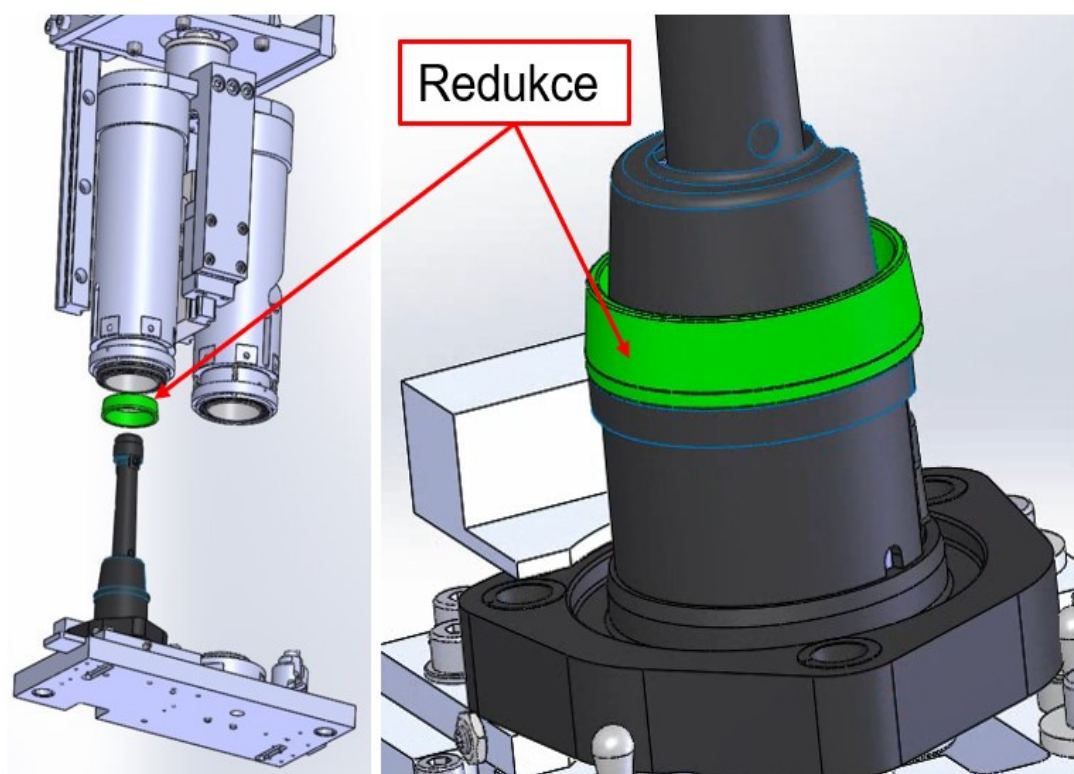
Jako poslední test se provede test s redukcí. Jak těsnění přechází přes přechodnou hranu (viz předešlý obrázek 30), vlivem nepřesností, tolerancí a dalších vlivů, se praporky

můžou poškodit. Z testů vyšlo najevo, že poškození praporků se vyskytuje více u 132 mm a 109 mm varianty. Tyto 2 varianty se liší od 100 mm verze právě i v tomto malém detailu a to, že 100 mm varianta má mírně zkosenou danou přechodnou hranu, zatímco ostatní verze mají výrazně ostřejší přechodnou hranu (obr. 31).



Obr. 31 – Porovnání přechodných hran u vyráběných variant

Byla tedy navržena a vyrobena redukce, která bude mít zkosení a její účel bude navést těsnění tak, aby ho nepoškodila. Návrh redukce je znázorněn na následujícím obrázku 32.



Obr. 32 – Návrh redukce pro přechodnou hranu ³³

Pro tento test se použije běžné těsnění s otřepy. Výsledek tohoto testu nám stanoví, zdali opravdu přechodná hrana způsobuje poškození vnitřních praporků.

Soupis testů pro danou problematiku, které budou provedeny v další kapitole, jsou sepsány v tabulce 6. Pro všechny testy bude při vkládání vstupních prvků provedena 100% vizuální kontrola a testy bude provádět jeden proškolený pracovník.

Tabulka 6 – Soupis testů pro useknutý praporek, zvlnění, částečné a žádné osazení

Název úkolu	Podmínky a specifikace
Test tření	- vyzkoušet 3 druhy těsnění a porovnat výsledky 1 typ = běžné těsnění, 2 typ = těsnění nejvyšší kvality bez otřepů, 3 typ = těsnění od nového dodavatele.
Test mazání	- vyzkoušet 2 druhy mazání a porovnat výsledky 1 typ = PTFE sprej, 2 typ = silikon sprej.
Test rychlosti osazování	- vyzkoušet 2 typy rychlosti osazování a porovnat výsledky 1 typ = pomalé osazování, 2 typ = rychlé osazování.
Test zažehlování	- vyzkoušet 4 typy zažehlování a porovnat výsledky 1 typ = bez zažehlování, 2 typ = 1 zažehlování v koncové poloze, 3 typ = vícenásobné zažehlování v koncové poloze, 4 typ = zažehlování při pohybu dolů.
Test nového nástroje	- vyzkoušet nový nástroj a porovnat výsledky s předchozím
Test s redukcí	- vyzkoušet osazování s redukcí na 2 typech těsnění 1 typ = běžné těsnění, 2 typ = těsnění nejvyšší kvality bez otřepů.

6 Cycle Time

Pro snížení Cycle Time se bude třeba zaměřit na komunikaci MES programu, která je zdoluhavá. Bude třeba probrat s programátorem úpravu, aby se snížil co nejvíce čas a komunikace probíhala plynule.

Další možnost snížení CT je při změně stroje, přesněji pozice 2 osazování čepičky. Cílem změny bude lepší automatizace pozice, snížení CT a zjednodušení práce pro operátory, jelikož se díky automatizaci z lůžka odebere jeden ze vstupních prvků (čepička), které bude automaticky dodávána do pozice 2 pomocí dopravníku.

Původní Cycle Time stroje byl až 18 s (obr. 33). Dle teoretického výpočtu by dosažitelné snížení CT mohlo být až na 8,4 s. Reálné očekávání snížení CT je díky automatizaci pozice 2 na čas 10 s.

Cycle time total (machine + operator):	10	≤ 18 s
--	----	--------

Obr. 33 – Výtažek z původní dokumentace (původní Cycle Time) ³³

Soupis úkolů pro danou problematiku, které budou provedeny v další kapitole, společně s podmínkami, za kterých budou provedeny, jsou sepsány v tabulce 7.

Tabulka 7 – Úkoly pro problém: Cycle Time

Název úkolu	Podmínky a specifikace
Komunikace MES programu	- prodiskutovat s programátorem možné změny v komunikaci MES a snížit čas komunikace na minimum
Automatizace pozice 2	- prodiskutovat možnou automatizaci pozice 2 s dodavatelem - zajistit změnu stroje

7 MES

Problém, který se částečně řeší již v Cycle Time. Zde je třeba se ovšem zaměřit na zapisování dat do systému a řešení chybových hlášek, aby se nestávalo, že systém zahlásí chybový výrobek, i když je výrobek naprosto v pořádku. Tento problém nastává často a ztrátová částka není zanedbatelná, proto je třeba tomuto problému věnovat pozornost.

Soupis úkolů pro danou problematiku, které budou provedeny v další kapitole, společně s podmínkami, za kterých budou provedeny, jsou sepsány v tabulce 8.

Tabulka 8 – Úkoly pro problém: MES

Název úkolu	Podmínky a specifikace
Zapisování dat	- prodiskutovat s programátorem nápravu zapisování chybových dat.

8 Čidlo na hlídání

Bude třeba probrat s dodavatelem změnu stroje, aby bylo přidáno čidlo pro hlídání vstupních prvků. Soupis úkolů pro danou problematiku, které budou provedeny v další kapitole, společně s podmínkami, za kterých budou provedeny, jsou sepsány v tabulce 9.

Tabulka 9 – Úkoly pro problém: čidlo na hlídání

Název úkolu	Podmínky a specifikace
Instalace čidla	- prodiskutovat s dodavatel instalaci a naprogramování čidla pro vstupní prvky

9 Nepevnost lůžka

Bude nutné projednat s dodavatelem přidání pojistky lůžka. Taktéž bude třeba vyřešit problém kam ukládat lůžka, jelikož volné místo v zadní části stroje již nebude k dispozici. Volné místo nahradí nový dopravník pro čepičky (viz automatizace pozice 2, u problému číslo 6).

Soupis úkolů pro danou problematiku, které budou provedeny v další kapitole, společně s podmínkami, za kterých budou provedeny, jsou sepsány v tabulce 10.

Tabulka 10 – Úkoly pro problém: nepevnost lůžka

Název úkolu	Podmínky a specifikace
Přidat pojistku lůžek	- prodiskutovat s dodavatel přidání pojistky na lůžka
Šuplík na lůžka	- prodiskutovat s dodavatel přidání šuplíku na lůžka

6.1 Realizace řešení

V následující podkapitole bude provedena realizace navržených řešení z předcházejících kapitol. Pro přehlednost jsou v následující tabulce 11 sepsané dané problémy společně s testy, které byly navrženy v předešlé podkapitole.

Tabulka 11 – Problémy a úkoly

Problémy a úkoly		
Číslo	Název problému	Úkoly/testy
1	Otřepy	- test rozměru, - test 2 typů těsnění.
2–5	Useknutý praporek, zvlnění, částečné osazení, neosazeno vůbec	- test tření, - test mazání, - test rychlosti osazování, - test zažehlování, - test nového nástroje, - test s redukcí.
6	Cycle Time	- komunikace MES programu, - automatizace pozice 2.
7	MES	- zapisování dat,
8	Čidlo na hlídání	- instalace čidla.
9	Nepevnost lůžka	- přidat pojistku lůžek, - šuplík na lůžka.

1 Otřepy

Pro testy na otřepy bylo vybráno celkem 200 kusů, které se následně použily pro druhý test 2 typů těsnění. Pro první test rozměru bylo selektováno náhodně 15 vzorků.

A. Test rozměru

Test rozměru je pouze kontrolní, zdali hodnoty na výkrese odpovídají skutečnosti, a proto testu není věnována přílišná pozornost (provedení testu však bylo nutné z důvodů ověření, zdali skutečné rozměry odpovídají rozměrům z výkresu). Pro test bylo použito digitální posuvné měřítko s přesností na 0,01 mm. Každé měření bylo provedeno 10x a výsledné hodnoty zapsané na obrázku 34 jsou průměrem z daných hodnot.

Kus č. [–]	A-A				C-C
	3,7±0,1 [mm]	4,2±0,1 [mm]	3,8±0,1 [mm]	0,85±0,05 [mm]	41,4±0,3 [mm]
1	3,66	4,12	3,89	0,94	41,81
2	3,63	4,15	3,73	0,95	41,56
3	3,68	4,16	3,74	0,79	41,28
4	3,62	4,16	3,8	0,77	42,13
5	3,68	4,2	3,83	0,79	41,27
6	3,68	4,17	3,76	0,68	41,54
7	3,68	4,14	3,77	0,89	41,55
8	3,65	4,11	3,75	0,82	41,67
9	3,66	4,13	3,82	0,72	41,53
10	3,68	4,16	3,79	0,73	41,57
11	3,66	4,18	3,84	1,08	41,67
12	3,64	4,12	3,7	0,99	41,28
13	3,66	4,11	3,71	0,96	41,47
14	3,68	4,14	3,75	0,96	41,42
15	3,66	4,18	3,8	0,84	41,21

Obr. 34 – Naměřené hodnoty pro test měření

Výsledky testu byly pozitivní. Veškeré hodnoty byly v toleranci. Jediný rozměr, který nebyl v toleranci, je rozměr pro praporek, který byl z 87 % mimo toleranční pole. Přihlédnout se musí na fakt, že metoda měření nebyla ta nejpřesnější a navíc se jedná o rozměr, o kterém se vědělo už od začátku, že je problémový a že nemusí být přesný. S přihlédnutím na veškeré podmínky, lze stanovit, že test rozměru potvrdil pravost rozměrů na výkresu a tudíž se může dále pracovat s rozměry z výkresu.

Zjištěné hodnoty ovšem byly měřeny na těsnění bez otřepů. To znamená, že může nastat situace, kdy přijde těsnění s otřepy a veškeré rozměry by mohli narůst až o 0,2 mm a tím by nebyly skoro žádné hodnoty v toleranci. Toto zjištění poukazuje na fakt, že povolené otřepy budou pravděpodobně problematické. Zdali jsou otřepy opravdu problém, zjistí následující test.

B. Test 2 typů těsnění

Jak již bylo zmíněno výše, pro test bylo použito celkem 200 kusů, kde 100 kusů bylo pro běžné těsnění a 100 kusů pro těsnění nejvyšší kvality. Ukázka z výroby je na obrázku 35.



Obr. 35 – Ukázka z výroby (běžné těsnění)

Všech 200 kusů bylo osazováno za stejných podmínek. Výsledky testu, který byl zaměřený na výskyt otřepů po osazování, jsou uvedeny v tabulce 12.

Tabulka 12 – Výsledky testu zaměřený na otřepy

OK/NOK	Definice vady	Počet kusů ze 100 [ks]
Běžné těsnění		
NOK	Otřep (vnitřní nebo vnější)	23
Těsnění nejvyšší kvality bez otřepů		
NOK	Otřep (vnitřní nebo vnější)	0

Z výsledků je patrné, že při použití těsnění nejvyšší kvality bez otřepů se dosahovalo výrazně lepších výsledků. Při zaměření pouze na výskyt otřepů po osazování, byla zmetkovitost u daného těsnění nulová, zatímco při použití běžného těsnění, byla zmetkovitost až 23 % (obr. 36).



Obr. 36 – Zmetkovitost pro test 2 těsnění

Tento test prokázal, že otřepy mají negativní vliv na proces osazování a do budoucna je nutné zajistit, aby těsnění bylo dodáváno bez otřepů. Test také vyvrátil hypotézu, že stroj

způsobuje otřepy. Lze stanovit, že jestliže se po procesu osazování vyskytnou na těsnění otřepy, tak je chyba na vstupním materiálu a ne v procesu osazování.

2–5 Useknutý praporek, zvlnění, částečné a žádné osazení

Pro stanovené testy bylo vybráno celkem 775 kusů, které byly následně testovány dle specifikací (obr. 37).



Obr. 37 – Část kusů pro testování

A. Test tření

Pro test tření bylo vybráno celkem 300 kusů, tedy 100 kusů pro každý typ těsnění. Aby se daly hodnoty srovnávat, byly pro všechny typy osazování stejné podmínky:

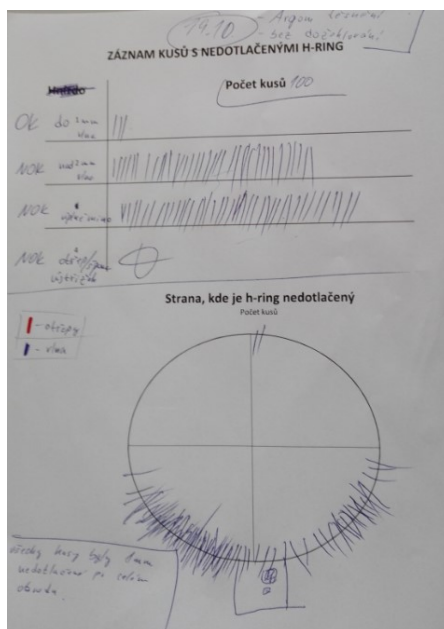
- osazovalo se bez zažehlení,
- osazovalo se standardní rychlostí,
- osazování prováděl jeden proškolený operátor,
- byla provedena 100% vizuální kontrola všech vstupních prvků.

Po osazení všech 300 kusů probíhalo vyhodnocování. Vyhodnocení provádělo oddělení průmyslového inženýrství ve spolupráci s oddělením kvality. Průběh vyhodnocování je znázorněn na následujícím obrázku 38.



Obr. 38 – Průběh vyhodnocování vybraných kusů

Vyhodnocování probíhalo za pomoci speciální šablony, do které se zapisovaly nalezené chyby. Šablony umožňovaly znázornit, kde se chyby nacházely, ale u většiny testů byly chyby náhodně rozmístěné po celém obvodu (až na výjimky, jako například na obr. 39), takže se pro další hodnocení rozmístění chyb nebere v úvahu. Ukázka šablony je zobrazena na následujícím obrázku 39.



Obr. 39 – Ukázka šablony pro vyhodnocování ³³

Obrázek slouží pouze pro představu, jelikož kusů bylo opravdu hodně a tak jsou šablony hodně popsané a nepřehledné. Veškeré výsledky z testů jsou graficky zpracované v následujících tabulkách 13–15.

Tabulka 13 – Výsledky testu pro běžné těsnění

Běžné těsnění		
OK/NOK	Definice vady	Počet [ks]
OK	OK (zvlnění do 1 mm)	18
NOK	Částečné osazení	25
NOK	Neosazeno vůbec	57
NOK	Usekнутý praporek/otřep (<i>nepočítá se do celkových ks</i>)	23

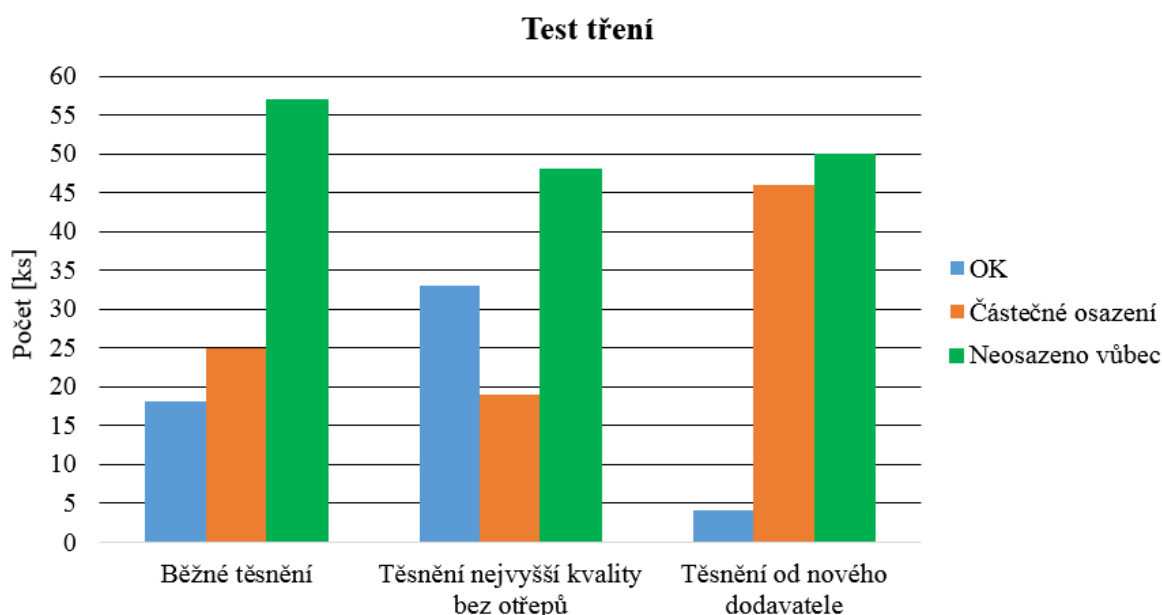
Tabulka 14 – Výsledky testu pro těsnění nejvyšší kvality bez otřepů

Těsnění nejvyšší kvality bez otřepů		
OK/NOK	Definice vady	Počet [ks]
OK	OK (zvlnění do 1 mm)	33
NOK	Částečné osazení	19
NOK	Neosazeno vůbec	48
NOK	Usekнутý praporek/otřep (<i>nepočítá se do celkových ks</i>)	0

Tabulka 15 – Výsledky testu pro těsnění od nového dodavatele

Těsnění od nového dodavatele		
OK/NOK	Definice vady	Počet [ks]
OK	OK (zvlnění do 1 mm)	4
NOK	Částečné osazení	46
NOK	Neosazeno vůbec	50
NOK	Usekнутý praporek/otřep (<i>nepočítá se do celkových ks</i>)	0

Veškeré kusy nebyly ideálně osazené, a tak kusy, které měly zvlnění do 1 mm, se považovaly jako OK kusy, jelikož do 1 mm je to přijatelné pro zákazníka (ale nepřijatelné pro firmu Continental, jelikož cílem je, aby byl proces bez chyb).



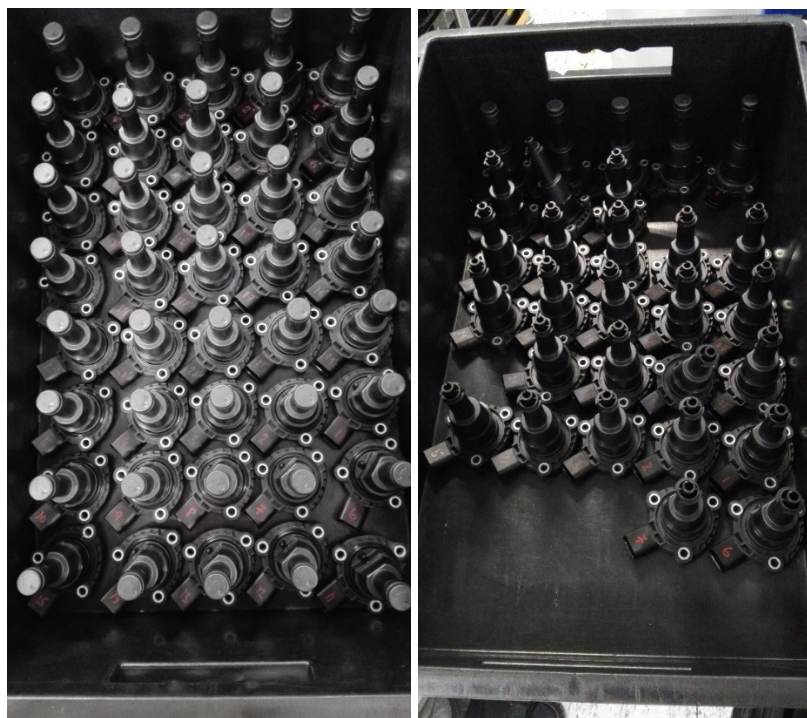
Obr. 40 – Výsledky testu tření

Z obrázku 40 je patrné, že OK kusů bylo nejvíce u těsnění nejvyšší kvality bez otřepů a nejméně OK kusů bylo u těsnění od nového dodavatele. Částečné osazení bylo taktéž nejhorší u nového dodavatele a nejlepší hodnoty byly dosaženy znovu u těsnění nejvyšší kvality. Poslední problém neosazeno vůbec, byl nejhorší u běžného těsnění a u ostatních typů byly hodnoty přibližně stejné.

Z výsledků je patrné, že nejlepší hodnoty se dosahovaly u těsnění nejvyšší kvality bez otřepů, a tudíž má smysl (jak již potvrdil první test) používat těsnění pouze bez otřepů. Test také potvrdil, že není třeba měnit dodavatele, jelikož dosažené výsledky od nového dodavatele nebyly přijatelné.

B. Test mazání

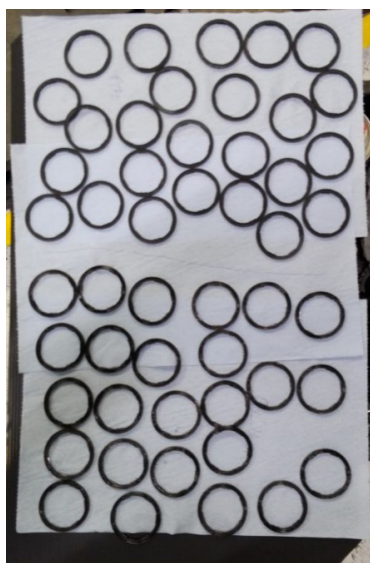
Pro test mazání bylo vyselektováno celkem 50 kusů, kde 25 kusů bylo mazáno silikonem a 25 kusů PTFE sprejem (obr. 41).



Obr. 41 – Ukázka vzorků pro test mazání

Po vybrání 50 kusů housingů, bylo vybráno 50 kusů těsnění z běžné výroby. Cílem bylo vybrat těsnění bez jakéhokoliv poškození a s minimálními otřepy, jelikož se v předešlých testech prokázalo, že otřepy mají negativní vliv na proces osazování.

V dalším kroku se namazalo 25 kusů těsnění silikonem a vzápětí dalších 25 kusů PTFE sprejem. Po namazání se chvíli počkalo na zaschnutí (obr. 42) a následně se začalo s osazováním.



Obr. 42 – Ukázka sušení těsnění

Test bohužel nedopadl vůbec pozitivně. I když hypotéza byla taková, že by mazání těsnění mělo pomoci při osazování (snížení tření), tak mazání těsnění mělo naopak výrazně negativní vliv na proces osazování. Díky mazání totiž mělo zařízení problém těsnění uchopit. V případě, že se podařilo těsnění uchopit, tak se často stávalo, že těsnění před samotným osazením, vlivem namazání vyklouzlo z kleštin.

Test byl zastaven již v polovině a bylo rozhodnuto, že nemá smysl pokračovat, jelikož mazání těsnění mělo viditelný negativní vliv na proces osazování, a do budoucna se nedoporučuje těsnění jakkoliv mazat.

C. Test rychlosti osazování

Pro test rychlosti osazování bylo vybráno celkem 36 kusů, kde 18 kusů bylo pro testování rychlého (běžného) osazování a 18 kusů pro pomalé osazování. Test se prováděl za běžných podmínek ve výrobě. Výsledky testu jsou v následujících tabulkách 16–17.

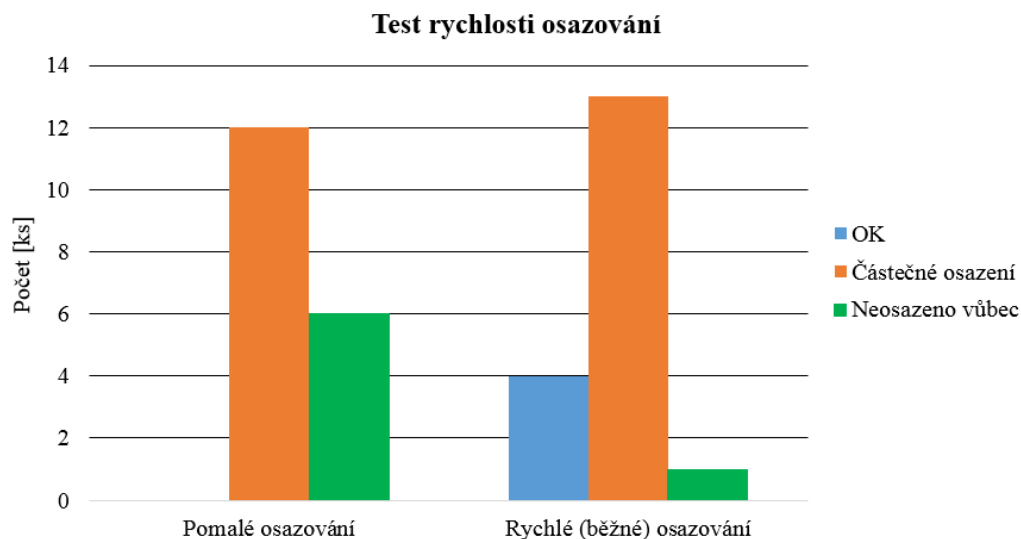
Tabulka 16 – Výsledky testu rychlého (běžného) osazování

Rychlé (běžné) osazování		
OK/NOK	Definice vady	Počet [ks]
OK	Zvlnění	4
NOK	Částečné osazení	13
NOK	Neosazeno vůbec	1
NOK	Useknutý praporek/otřep (<i>nepočítá se do celkových ks</i>)	0

Tabulka 17 – Výsledky testu pomalého osazování

Pomalé osazování		
OK/NOK	Definice vady	Počet [ks]
OK	Zvlnění	0
NOK	Částečné osazení	12
NOK	Neosazeno vůbec	6
NOK	Useknutý praporek/otřep (<i>nepočítá se do celkových ks</i>)	0

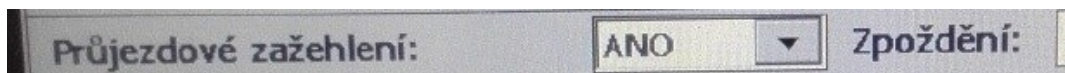
Z výsledků je patrné, že zpomalení procesu osazování nemělo žádný pozitivní vliv na proces osazování. Pro jistotu byl ještě proveden test, kde se sledovalo 50 kusů při použití těsnění nejvyšší kvality bez otřepů a za pomalého osazování, ovšem i při tomto testu se neprokázal žádný pozitivní vliv na proces osazení, vlivem zpomalení. Lze tedy konstatovat, že původní myšlenka, že by rychlost osazování mohla mít vliv na useknutý praporek je mylná (při testu se nevyskytoval žádný useknutý praporek) a nemá smysl upravovat rychlost osazování. Výsledky testu jsou graficky znázorněny v následujícím obrázku 43.



Obr. 43 – Výsledky testu rychlosti osazování

D. Test zažehlování

Pro daný test byla upravena pozice 3, aby umožňovala osazování již za pohybu dolů. Do uživatelského panelu byla přidána kolonka průjezdového zažehlení (obr. 44), kde se dá nastavit volitelné zpoždění, tedy stroj začne se zažehlováním s nastaveným zpožděním (výška startu zažehlování, nulový bod je nahoře). Průjezdové zažehlení lze i vypnout, anebo nastavit na zažehlování v koncové poloze (předchozí stav).



Obr. 44 – Kolonka průjezdového zažehlení ³³

Pro test bylo vybráno celkem 163 kusů, kde 113 kusů bylo pro test bez zažehlení, 20 kusů pro test 1x zažehlení v koncové poloze, 10 kusů pro vícenásobné zažehlení v koncové poloze (menší priorita, jelikož z dřívějších zkušeností se prokázalo vícenásobné zažehlení v koncové poloze jako škodlivé) a 20 kusů pro zažehlení za pohybu dolů (obr. 45). Výsledky testu jsou v následujících tabulkách 18–21.



Obr. 45 – Průběh vyhodnocování testu zažehlování

Tabulka 18 – Výsledky testu bez zažehlení

Bez zažehlení		
OK/NOK	Definice vady	Počet [ks]
OK	Zvlnění	31
NOK	Částečné osazení	14
NOK	Neosazeno vůbec	68
NOK	Usekнутý praporek/otřep (<i>nepočítá se do celkových ks</i>)	0

Tabulka 19 – Výsledky testu pro zažehlení v koncové poloze

Zažehlení v koncové poloze		
OK/NOK	Definice vady	Počet [ks]
OK	Zvlnění	9
NOK	Částečné osazení	10
NOK	Neosazeno vůbec	1
NOK	Usekнутý praporek/otřep (<i>nepočítá se do celkových ks</i>)	6

Tabulka 20 – Výsledky testu pro vícenásobné zažehlení v koncové poloze

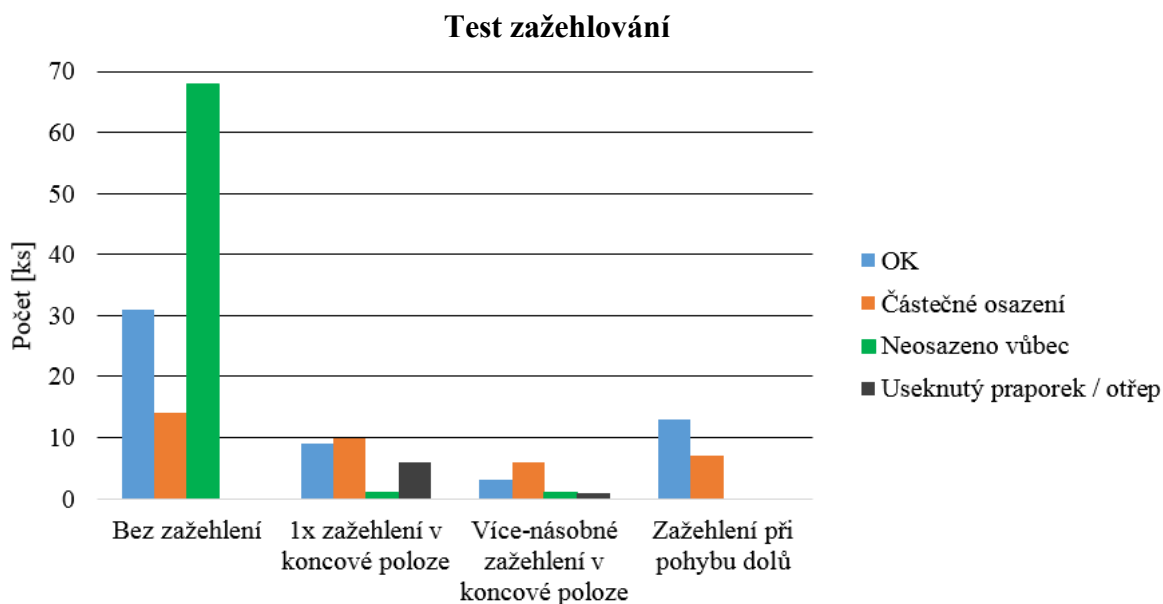
Vícenásobné zažehlení v koncové poloze		
OK/NOK	Definice vady	Počet [ks]
OK	Zvlnění	3
NOK	Částečné osazení	6
NOK	Neosazeno vůbec	1
NOK	Usekнутý praporek/otřep (<i>nepočítá se do celkových ks</i>)	1

Tabulka 21 – Výsledky testu pro zažehlení při pohybu dolů

Zažehlení při pohybu dolů		
OK/NOK	Definice vady	Počet [ks]
OK	Zvlnění	13
NOK	Částečné osazení	7
NOK	Neosazeno vůbec	0
NOK	Usekнутý praporek/otřep (<i>nepočítá se do celkových ks</i>)	0

Z výsledků z předešlých tabulek a z obrázku 46 lze pozorovat, že osazování bez zažehlení sice mělo nulový výskyt poškozených praporků a větší počet OK kusů, ale na druhou stranu počet chyby neosazeno vůbec (závažnější chyba) byl taktéž příliš vysoký. Zažehlení v koncové poloze potvrdilo hypotézu, že vlivem tření dané zažehlení těsnění poškodí. I když u této metody naroste počet OK kusů, zároveň naroste počet poškozených praporků. Zažehlování v koncové poloze se s daným těsněním nedoporučuje. Při posledním testu, kde se zažehlovalo pohybem dolů, jsou výsledky nejlepší. Sice

se objevovaly kusy, které nebyly částečně osazené, ale problém s neosazením vůbec a useknutým praporkem se nevyskytoval ani jednou.



Obr. 46 – Vyhodnocená data z testu zažehlování

Test zažehlování prokázal, že nejlepší řešení je zažehlovat při pohybu dolů, kde začátek zažehlování bude těsně před problematickou hranou.

E. Test nového nástroje

Před testem byl zhotoven nový nástroj za podpory dodavatele. Nástroj byl pozměněn tak, že se zkosila hrana, která měla dříve pravý úhel (obr. 47).



Obr. 47 – Porovnání starého a nového nástroje (zkosení hrany)

Pro test nového nástroje bylo sledováno 10 kusů a následně byl test přerušen, jelikož již při 10 kusech se prokázalo, že změna nástroje nemá žádný pozitivní vliv na zlepšení osazování. Výsledky test jsou zapsány v následující tabulce 22.

Tabulka 22 – Výsledky testu nového nástroje

Nový nástroj		
OK/NOK	Definice vady	Počet [ks]
OK	Zvlnění	4
NOK	Částečné osazení	4
NOK	Neosazeno vůbec	2
NOK	Useknutý praporek / otřep (<i>nepočítá se do celkových ks</i>)	3

F. Test s redukcí

Pro tento test byly vyrobeny celkem 3 redukce. První redukce byla vyrobena na 3D tiskárně (obr. 48a), aby se otestovala hypotéza. Druhý typ redukce dodal dodavatel (obr. 48b) a poslední typ redukce byl vyroben interně ve firmě Continental (obr. 48c), kde se implementovaly nedostatky, které se zjistily po rychlém testu s redukcí z 3D tiskárny.



Obr. 48 – Typy redukcí (z leva: a, b, c)

Pro test s redukcí se použilo celkem 166 kusů, kde 20 kusů bylo použito pro test s redukcí z 3D tiskárny, 20 kusů pro test s redukcí od dodavatele a 126 kusů pro test interní redukce. První 2 testy byly pouze informativní, pro potvrzení hypotézy. Do budoucna se plánovalo použít až 3 typy redukcí a proto je rozsah testu pro tento typ nejširší. Výsledky testů jsou zapsány v následujících tabulkách 23–25.

Tabulka 23 – Výsledky testu redukce z 3D tiskárny

Redukce z 3D tiskárny		
OK/NOK	Definice vady	Počet [ks]
OK	Zvlnění	3
NOK	Částečné osazení	12
NOK	Neosazeno vůbec	5
NOK	Useknutý praporek / otřep (<i>nepočítá se do celkových ks</i>)	0

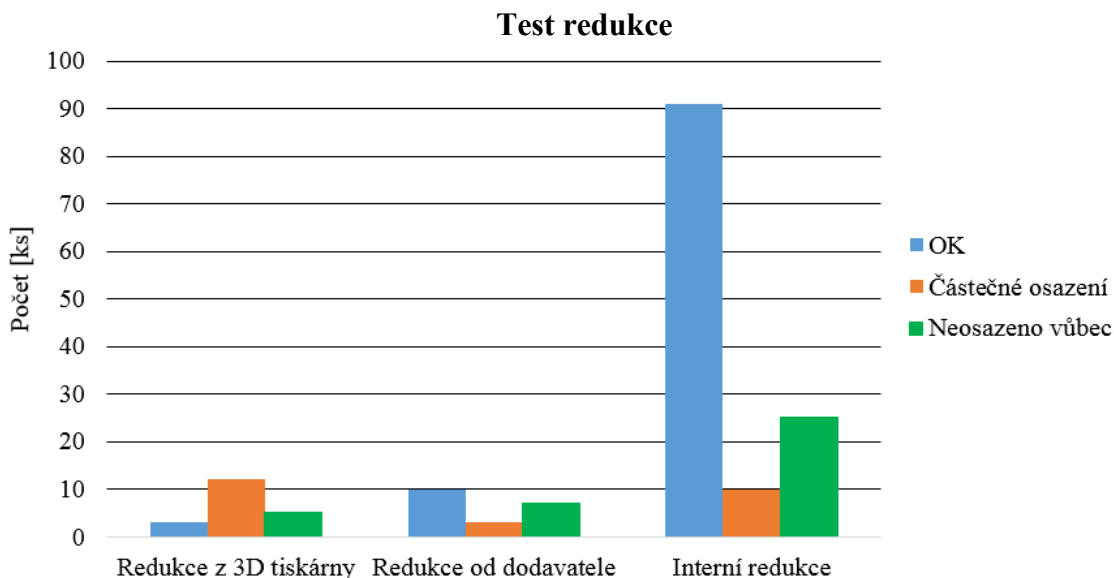
Tabulka 24 – Výsledky testu redukce od dodavatele

Redukce od dodavatele		
OK/NOK	Definice vady	Počet [ks]
OK	Zvlnění	10
NOK	Částečné osazení	3
NOK	Neosazeno vůbec	7
NOK	Useknutý praporek / otřep (<i>nepočítá se do celkových ks</i>)	0

Tabulka 25 – Výsledky testu redukce interní

Interní redukce		
OK/NOK	Definice vady	Počet [ks]
OK	Zvlnění	91
NOK	Částečné osazení	10
NOK	Neosazeno vůbec	25
NOK	Useknutý praporek / otřep (<i>nepočítá se do celkových ks</i>)	0

Výsledky testů jsou velmi pozitivní, jelikož useknutý praporek měl nulový výskyt u všech 166 kusů a všech 3 typů redukcí. Také si lze všimnout na obrázku 49, že u posledního typu redukce došlo k výraznému nárůstu OK kusů ve srovnání s předešlými testy. Test s interní redukcí vyšel ze všech proběhlých testů nejlépe.



Obr. 49 – Výsledky testů s redukcí

První redukce byla z 3D tiskárny a tudíž materiálu, který nebyl pro osazování ideální, proto se tato redukce do budoucna vylučuje. Druhý typ redukce od dodavatele, byl zase na druhou stranu příliš vysoký a redukce se velmi často zasekávala ve vnitřní dutině nástroje. Proto se tento typ do budoucna také vylučuje.

Poslední typ redukce, který měl nejlepší výsledky, měl také jeden nedostatek, který nešlo předpokládat. Vlivem nedostatku místa se stávalo, že se někdy redukce zasekla ve vnitřní dutině nástroje. Tento problém nastával méně často než u předešlého typu, ale i tak to komplikovalo výrobu.

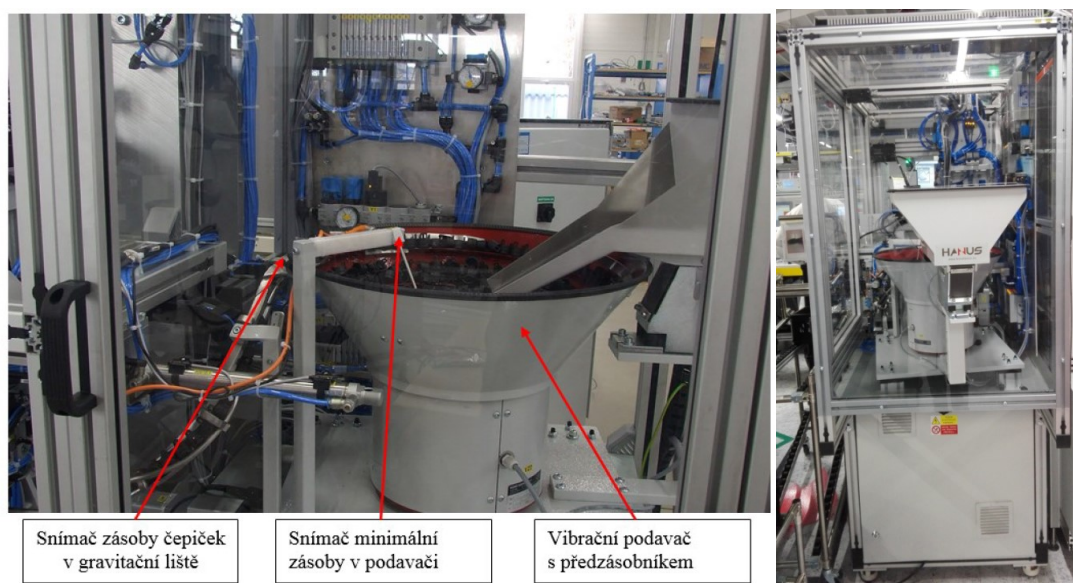
I když tedy bylo dosaženo lepších výsledků díky redukcí, do budoucna je nepoužitelná, jelikož by zbytečně komplikovala výrobu. Použit by šla v případě, že by došlo ke změně designu jak výrobku, tak nástroje a díky změně by bylo více místa ve vnitřní dutině nástroje. Tento scénář ovšem nenastane a tudíž se redukce v budoucnu používat nebude.

Test redukce potvrdil, že daná hrana opravdu způsobuje problém s useknutým praporkem. Řešením je tedy nutná změna designu, aby se hrana zaoblila, anebo použití redukce (ovšem musí se počítat s problémy, které nastaly při testech).

6 Cycle Time

Pro snížení Cycle Time bylo zapotřebí změnit a automatizovat pozici 2. Celý stroj se tedy převezl k dodavateli, kde proběhly požadované změny. Při této příležitosti se probrala s programátorem komunikace s MES programem. Externí programátor zkontroloval celý program od základů, doladil ho a díky optimalizaci programu se snížil Cycle Time.

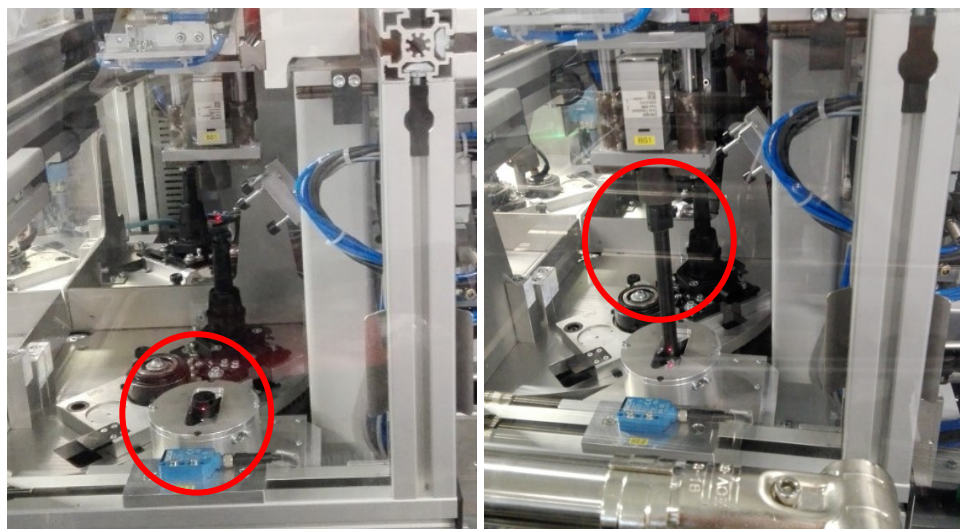
Součástí automatizace pozice 2 bylo přidání vibračního podavače, který nyní automaticky dodává čepičky, které se doplňují v zadní části stroje (obr. 50).



Obr. 50 – Vibrační podavač³³

Po dodání čepičky pomocí vibračního podavače, nastává automatické osazování. Proces osazování čepičky na pozici 2 je následující:

- Manipulátor vyzvedne čepičku z gravitační lišty a osadí ji do lůžka.
- Zde čepička čeká na vyzvednutí (obr. 51a).
- Manipulátor najede doprava nad lůžko s ofukem.
- Čepička je „nabita“ pneumatickým válcem do montážní hlavy (obr. 51b).
- Manipulátor najede do pracovní polohy a osadí čepičku na housing.
- Zásobník se spouští automaticky na základě snímače zaplnění gravitační lišty.

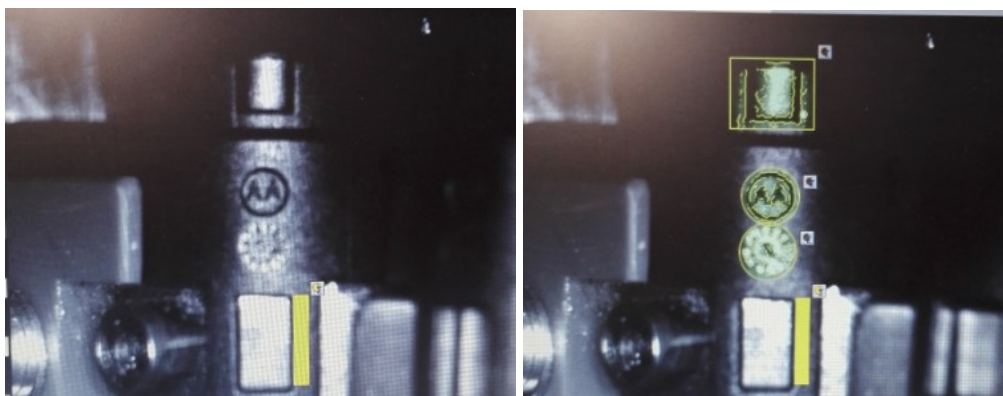


Obr. 51 – Nabítí čepičky (z leva: a, b)

Pro plynulý chod bylo ještě zapotřebí přidat jeden prvek Poka-Yoke. Tento prvek je nový senzor, který hlídá přítomnost a správné natočení čepičky v lůžku. Nastavení senzoru probíhal ve spolupráci s externím programátorem za běžného provozu. Jako výstup byly nastaveny 2 možné programy:

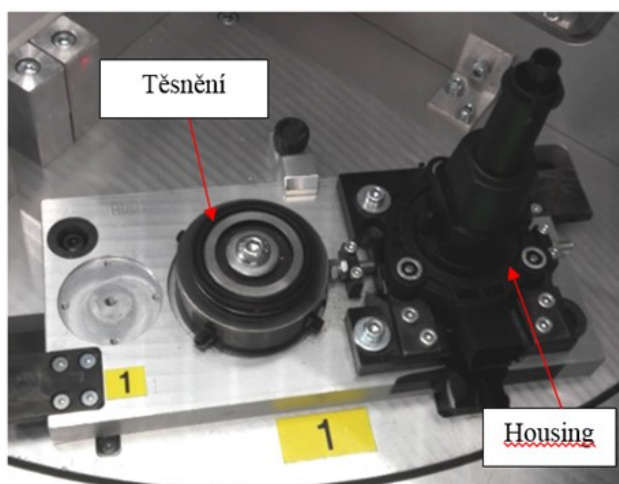
- jedna kontrola (obr. 52a),
- vícenásobná kontrola (obr. 52b).

Po důkladné konzultaci s programátorem byl jako výchozí program nastavena verze, kde je pouze jedna kontrola spodní mezery (obr. 52a). Mohla by totiž nastat situace, kdyby kamera uznala 3 podmínky, ale 4 neuzná a následně by manipulátor čepičku otočil špatně. Kontrola spodní hrany se ukázala jako nejpřesnější a za celé 2 hodiny výroby, ani jednou nehlásila špatný výsledek (na rozdíl od ostatních podmínek) a tudíž byla zvolena jako hlavní a jediná podmínka. Kdyby v budoucna nastal problém s programem 1, vždy lze použít program 2 jako zálohu.



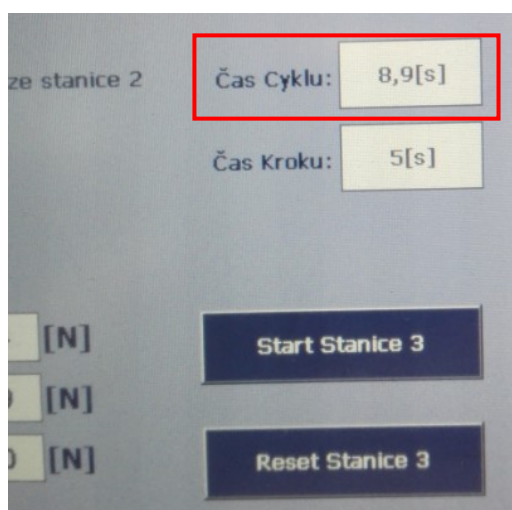
Obr. 52 – Nastavení podmínek u kamery pro čepičky (z leva: a, b)

Díky automatizaci čepičky se odstranil jeden ze zakládacích prvků, tím se snížil potřebný čas pro operátora a Cycle Time. Změna lůžka po automatizaci pozice 2 je zobrazena na obrázku 53.



Obr. 53 – Nový typ lůžka (bez čepičky)

Výsledný Cycle Time se díky optimalizaci a automatizaci pozice 2 a komunikaci s MES snížil z původních 18 sec na 8,9 sec (obr. 54).



Obr. 54 – Nový Cycle Time po optimalizaci a automatizaci ³³

7 MES

Problém s MES se již částečně vyřešil v předešlém problému během automatizace zařízení (zdlouhavé čekání po zmáčknutí START tlačítka bylo odstraněno, díky optimalizaci programu externím programátorem).

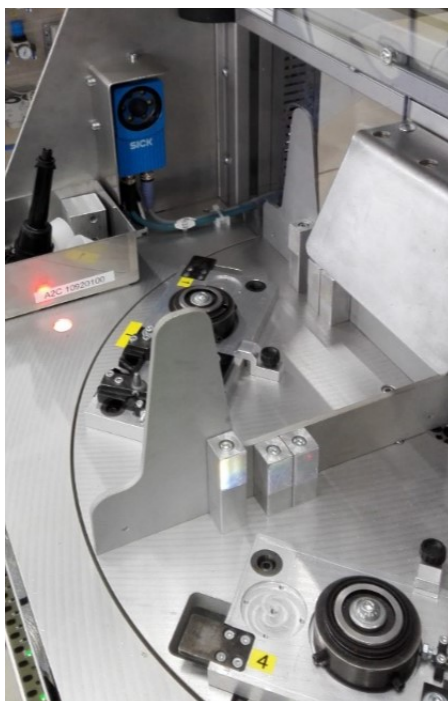
Pro problém se zapisováním dat, byl do firmy zavolán externí programátor, který se podílel na programování daného zařízení, a byly prodiskutovány možnosti, které by danou chybu mohly způsobovat. Programátor bohužel nenašel žádnou chybu v programu na stroji. Z jeho pohledu je komunikace v pořádku.

Pozornost tedy byla zaměřena na IT oddělení, na program MES, jelikož problém se zapisováním dat, dle průzkumu, se vyskytuje i na jiných zařízeních, takže je pravděpodobné, že problém bude na straně komunikace MES. IT oddělení ovšem také nenalezlo chybu na jejich straně a z jejich pohledu je komunikace v pořádku.

Bylo provedeno několik monitoringů dne, ovšem s žádným pozitivním výsledkem. I když se podařilo zastihnout moment, kdy program nezapsal hodnotu, příčinu a důvod proč se tak stalo, se nepodařilo zjistit. Daný problém se zapisováním dat tedy přetrvává.

8 Čidlo na hlídání

Vstupní prvky Poka-Yoke byly aktualizovány a vylepšeny, aby nedocházelo k problémům špatného založení. Byl přidán snímač SICK, který zajišťuje kontrolu založení správné verze a kontroluje, zda není přítomna čepička (obr. 55).



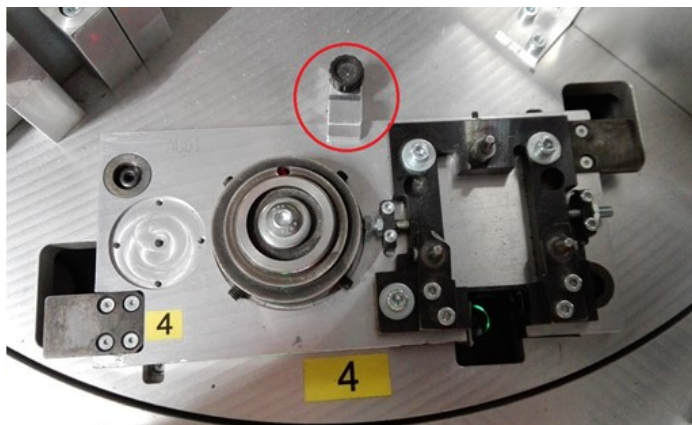
Obr. 55 – Nový senzor SICK pro kontrolu správné verze

9 Nepevnost lůžka

Při přestavbě stroje (automatizace pozice 2) bylo cílem vyladit veškeré detaily již u dodavatele, a tak se rovnou vylepšily lůžka, aby již nedocházelo k náhodnému vytažení vlivem třecích sil a zároveň byl přidán šuplík na lůžka.

A. Přidání pojistky na lůžka

Pro všechny lůžka byl přidán aretační šroub (obr. 56), který brání náhodnému vytažení vlivem třecích sil na pozici 4. Toto jednoduché řešení, které stálo minimum nákladů, dokonale řeší daný problém.



Obr. 56 – Nový aretační šroub proti náhodnému vytažení

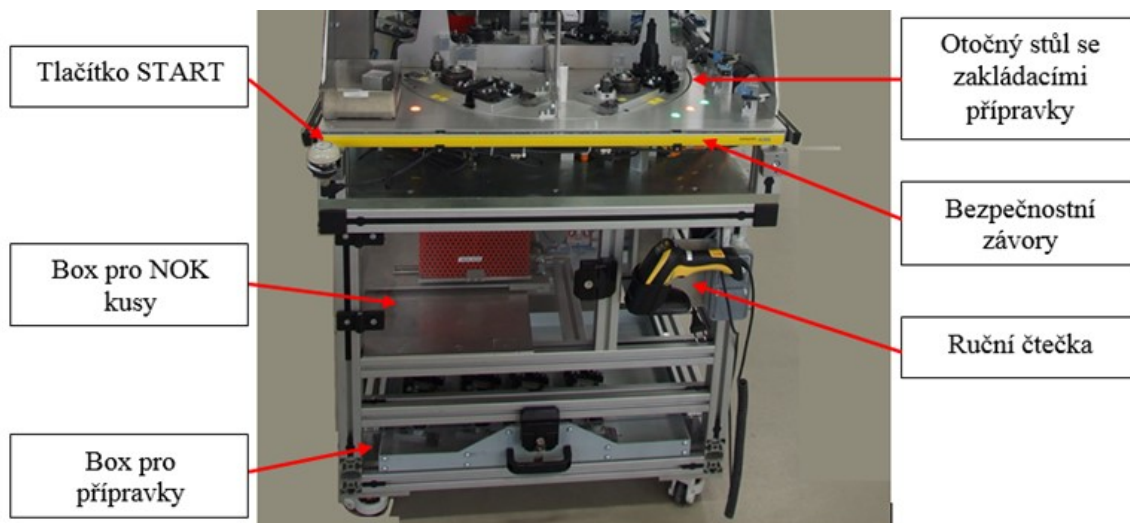
B. Přidání šuplíku na lůžka

Dříve se lůžka ukládaly do volného prostoru v zadní části zařízení (obr. 57). Díky automatizaci pozice 2, byl přidán vibrační podavač a daný volný prostor byl zaplněn. Bylo proto nutné vymyslet nové umístění pro lůžka.

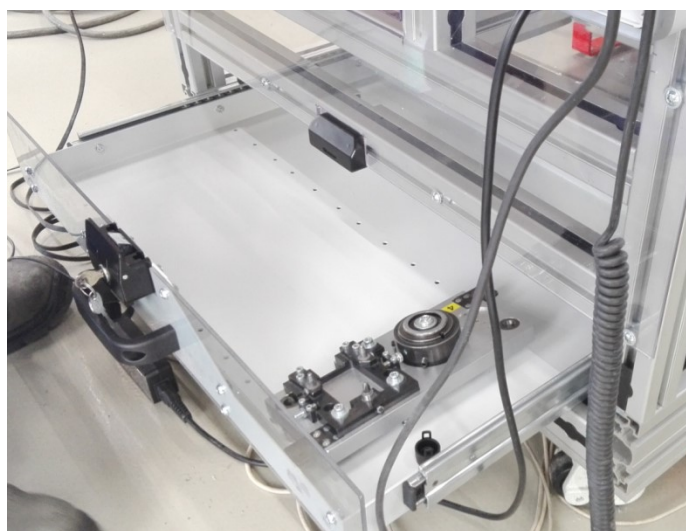


Obr. 57 – Dřívější umístění lůžek

Pro nové umístění se vyrobil šuplík, který se umístil do spodní části stroje (obr. 58 a 59). Šuplík se zajistil zámkem, ke kterému má přístup pouze údržba, vedoucí výroby a technici.



Obr. 58 – Umístění nového šuplíku pro lůžka³³



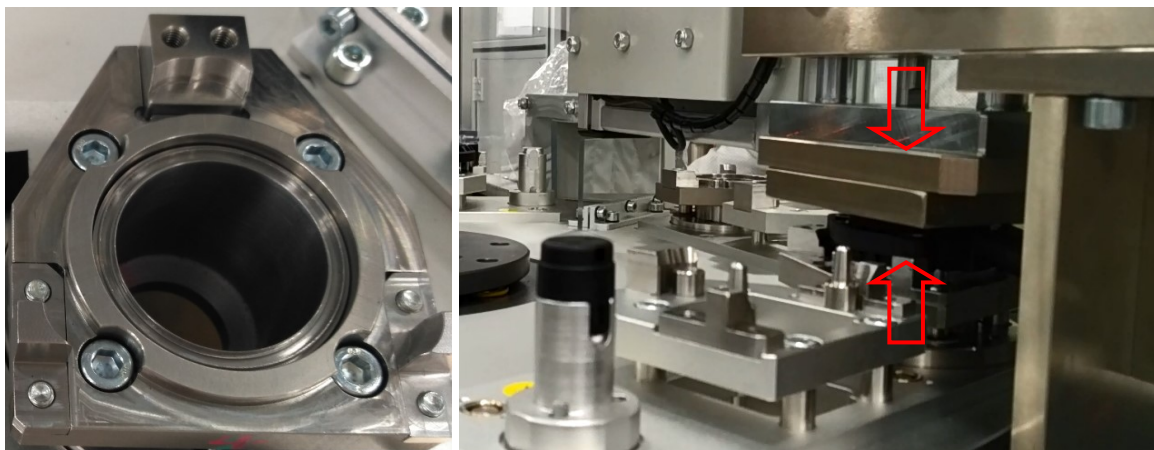
Obr. 59 – Nový box pro přípravky (lůžka)

6.2 Návrh alternativních řešení

Jako alternativní řešení jsou uvedeny možnosti, které by byly příliš nákladné finančně, či časově, a tudíž nebyly v rámci diplomové práce realizovány. Vzhledem k tomu, že by návrhy mohly vést k vyřešení problému, jsou alespoň okrajově zmíněny.

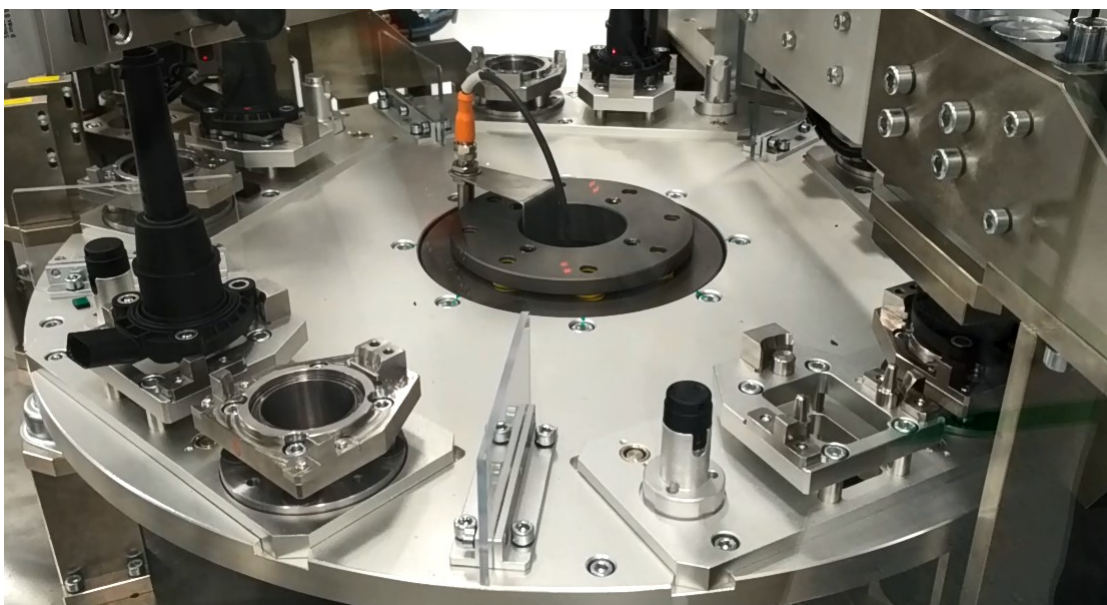
A. Změna designu stroje

Proces osazování čepičky a těsnění se neprovádí pouze v České republice, ale stejný proces mají v závodě v Číně a Maďarsku. Tam konstruktéři vymysleli proces osazování odlišně. Například v Číně, namísto toho, aby manipulovali s těsněním, manipulují s housingem. Těsnění je pevně založeno do lůžka a vystředěno (obr. 60a). Následně se na dané těsnění usadí housing a osadí se pomocí přítlaču (obr. 60b).



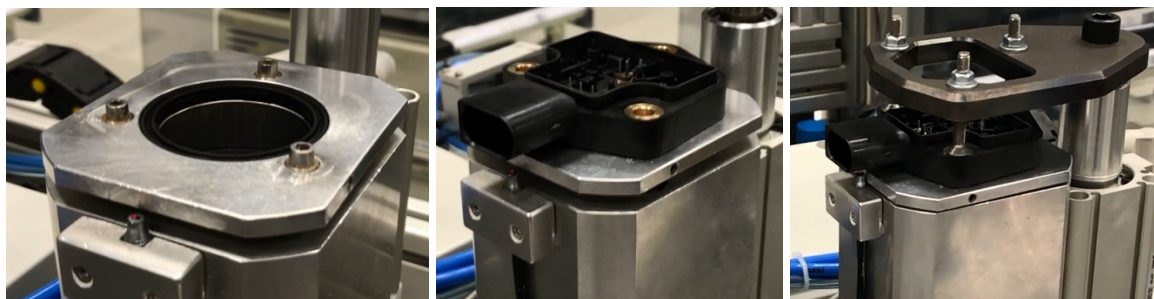
Obr. 60 – Proces osazování těsnění v Číně (zleva: a, b) ³³

Jakmile je těsnění osazeno, manipulátor housing otočí a proces pokračuje v dalších krocích s osazováním čepičky (obr. 61).



Obr. 61 – Proces osazování čepičky a těsnění v Číně ³³

Další země s podobným konceptem je Maďarsko. Tam je proces osazování postaven na velmi podobném principu jako v Číně. Těsnění je pevně ustaveno do lůžka a vystředěno (obr. 62a). Následně se na dané těsnění usadí housing (obr. 62b) a osadí se pomocí přítlaku (obr. 62c).



Obr. 62 – Proces osazování těsnění v Maďarsku (zleva: a, b, c) ³³

Dle dostupných informací proces funguje v obou zemích bez problémů a tudíž v případě investice do nového stroje, by se dalo inspirovat od zahraničních konstruktérů, jelikož manipulace s housingem se jeví jako lepší řešení, než manipulace s těsněním.

B. Nástroj z jiného materiálu (pryže)

Ke konci řešení diplomové práce byl sestaven tým pro projekt Six Sigma. Cílem projektu je odstranit problémy, které se nepodařilo vyřešit v diplomové práci a doladit proces osazování čepičky a těsnění do dokonalosti. Jeden z návrhů jak vyřešit problémy s těsněním byl, že by nástroj pro osazování byl z pryže nebo měkčího materiálu než železo. Tato hypotéza by mohla vyřešit problém s useknutým praporkem a teoreticky i ostatní problémy.

Nástroj se dal vyrobit externímu dodavateli, ovšem do konce diplomové práce se nestihl dodat a tak je tato možnost zahrnuta zde v alternativních řešení, jelikož by opravdu mohla vyřešit dané problémy. Otázka je, jestli to pomůže se všemi problémy (zvlnění, částečné osazení, ...) či pouze s useknutým praporkem.

C. Změna designu

Jak testy v předešlých kapitolách naznačují, problém bude již v prvotní návrhu těsnění, a tudíž by bylo ideální provést změnu designu u těsnění. Pozornost při změně designu by se měla věnovat především vnitřním praporkům, jelikož pravděpodobně neplní předpokládanou funkci a zhoršují proces osazování.

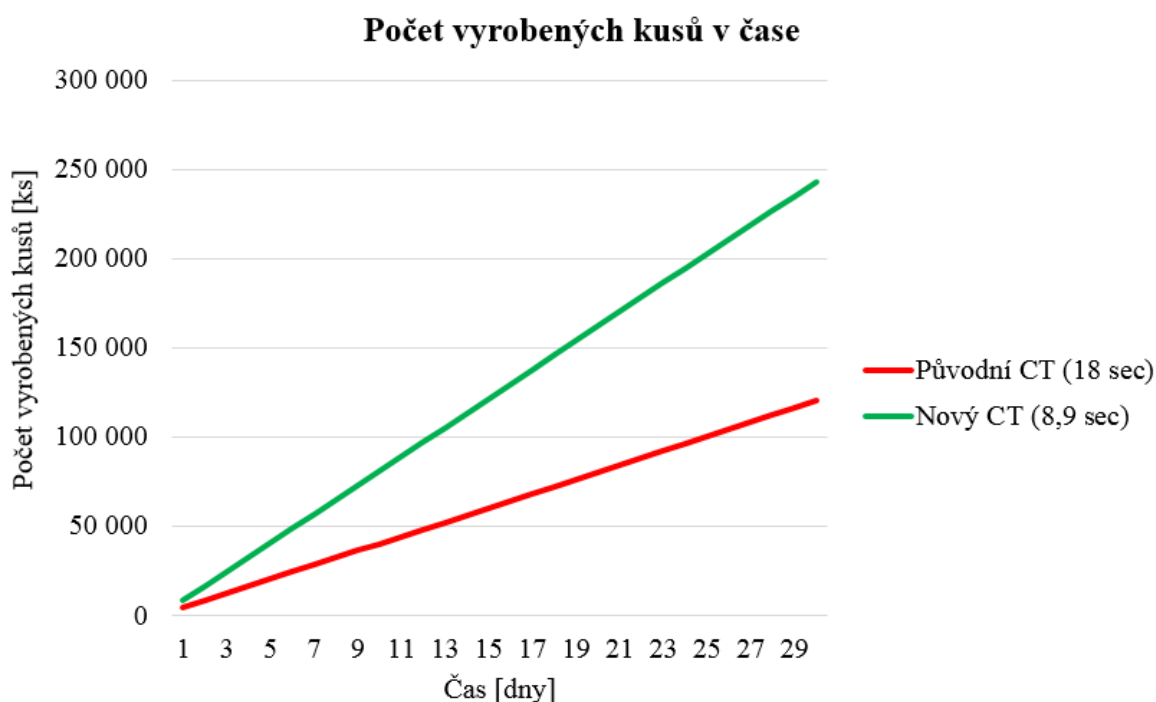
7 Zhodnocení a přínos pro podnik

V této kapitole bude nejprve zhodnocen přínos pro podnik a následně se zhodnotí dosažené výsledky.

7.1 Přínos pro podnik

Hlavní přínos pro podnik je udržení zákazníků a splnění jejich očekávání. Na proces osazování těsnění a čepičky se zákazníci již dříve zaměřili a požadovali zlepšení procesu. V případě, že by se proces nezlepšil, mohlo dojít k ohrožení vztahů s danými zákazníky. Díky optimalizaci procesu a výraznému snížení Cycle Time se splnily požadavky zákazníků a proces osazování čepičky a těsnění prošel auditem a byl přijat, s tím, že do budoucna budou napraveny nedostatky, které nebyly ještě vyřešeny. Na vyřešení těchto nedostatků se ke konci řešení diplomové práce sestavil tým Six Sigma.

Dalším přínosem pro podnik je ušetření nákladů díky redukci NOK kusů a také zlepšení kvality finálního výrobku, díky odstranění otřepů a finální vizuální kontrole. Díky redukci Cycle Time na polovinu, lze nyní vyrobit dvojnásobné množství výrobků než dříve, a to povede k vyšším výnosům (obr. 63).



Obr. 63 – Porovnání počtu vyrobených kusů v čase

Jako poslední přínos pro podnik je zjednodušení procesu a menší náročnost na operátora, díky redukci vstupních komponentů ze 3 na 2.

7.2 Zhodnocení

Nyní se zhodnotí veškeré stanovené problémy, zdali a jak byly vyřešeny či nikoliv. Stanovené problémy byly:

- otřepy,
- useknutý praporek,
- zvlnění,
- částečné osazení,
- neosazeno vůbec,
- Cycle Time,
- MES,
- čidlo na hlídání,
- nepevnost lůžka.

Jako první problém se v diplomové práci řešily otřepy. Jak test prokázal, otřepy mají opravdu negativní vliv na proces osazování. Problém byl vyřešen tak, že byl zadán požadavek k výrobě těsnění bez otřepů a zároveň se přidal do výroby další operátor. Zařízení tedy obsluhují 2 operátoři. První operátor dělá 100% vstupní vizuální kontrolu vstupních prvků, kde selektuje pouze těsnění nejvyšší kvality bez otřepů a zakládá prvky do lůžka. Druhý operátor odebírá hotové kusy z pozice 4 a dělá 100% výstupní vizuální kontrolu.

Z výsledků pro druhý problém, kterým byl useknutý praporek vyšlo, že zažehlování v koncové poloze má opravdu negativní efekt na těsnění. Také byla potvrzena hypotéza, že problémová hrana způsobuje useknutý praporek. Řešením, jak testy ukázaly, je použití zažehlování při rotaci dolů, kde start rotace bude těsně před problémovou hranou. Při testování nedošlo k žádnému poškození praporků, takže se tato metoda jeví jako ideální pro vyřešení daného problému. Jako alternativní řešení lze použít redukci, která se prokázala také jako velmi dobré řešení, jelikož redukovala výskyt poškozených praporků na 0. Při použití této metody se ovšem musí počítat s problémem, který se ukázal při testech a to, že v některých případech dojde k zaseknutí redukce v osazovacím nástroji.

Problém se zvlněním a částečným osazením se bohužel nepodařilo eliminovat vůbec. I když došlo k výraznému zlepšení procesu, po odstranění otřepů a aplikování zažehlování při pohybu dolů, zvlnění stále přetrvává. Jako provizorní řešení, jak již bylo zmíněno u problému s otřepy, se přidal další operátor, který provádí 100% výstupní vizuální kontrolu a v případě zvlnění či částečného osazení, dané kusy dotlačí.

Problém s neosazením vůbec se dle testů jeví jako vyřešený, díky aplikaci zažehlování při pohybu dolů, kde při testování byl výskyt nulový. Ovšem z dodatečného pozorování v sériové výrobě, bylo zjištěno, že se tento problém vzácně stále objevuje. Problém byl

redukován na minimum, ve srovnání s výskytem, jaký byl před optimalizací (viz testy), ovšem k úplné eliminaci problému nedošlo.

Cycle Time byl díky automatizaci pozice 2 a vyladění programu redukován z původních 18 sec na 8,9 sec. Díky redukci Cycle Time na polovinu, je nyní možné vyrobit dvojnásobné množství výrobků než dříve.

Jak bylo popsáno při testování, problém s komunikací MES se podařilo vyřešit pouze částečně. Zdlouhavé čekání na reakci MES programu bylo vyřešeno, ovšem špatné zapisování dat se vyřešit nepodařilo a příčina je neznámá. Jako správné řešení se jeví znovu provést detailnější kontrolu programu a komunikace, za přítomnosti obou programátorů (jak externího programátora, tak programátora z IT oddělení), případně program přeprogramovat.

Méně významné problémy, mezi které patří čidlo na hlídání a nepevnost lůžka (společně s vyřešením problému, kam uložit lůžka, po automatizaci pozice 2) se vyřešily efektivně přidáním pár komponentů na zařízení (viz testování v minulé kapitole).

V následující tabulce 26 je souhrn řešení problémů, které byly detailně popsány v předešlém textu.

Tabulka 26 – Souhrn řešení problémů

Číslo	Název problému	Stručný popis řešení*	
1	Otřepy	- přidán operátor do výroby - odstranění povolených otřepů u těsnění	✓
2	Useknutý praporek	- změna metody zažehlování	✓
3	Zvlnění	- problém přetrvává - přidán operátor do výroby	✗
4	Částečné osazení	- výrazné zlepšení, ale problém přetrvává - přidán operátor do výroby	—
5	Neosazeno vůbec	- kombinace zlepšení zažehlování a odstranění otřepů	✓
6	Cycle Time	- automatizace pozice 2 a optimalizace procesu	✓
7	MES	- vyřešen problém se zdlouhavou komunikací - problém se špatným zapisováním přetrvává	—
8	Čidlo na hlídání	- přidání komponentů na zařízení	✓
9	Nepevnost lůžka	- přidání komponentů na zařízení	✓

* vyřešeno (✓), částečně vyřešeno (—), nepodařilo se vyřešit (✗)

8 Závěr

Cílem diplomové práce bylo optimalizovat výrobu ultrazvukového senzoru pro měření hladiny a teploty oleje, v úzkém místě, kterým byla linka osazování čepičky a těsnění.

V diplomové práci byla nejdříve stručně probrána základní teorie potřebná pro zpracování praktické části. Pozornost byla věnována z velké části štíhlé výrobě, jejím metodám a to především metodě Poka-Yoke.

V kapitole 2 byla stručně představena firma Continental Automotive Czech Republic s.r.o., závod Frenštát pod Radhoštěm, ve které byla diplomová práce řešena. Kapitola pokračovala popisem finálního výrobku, společně s popisem kompletního procesu výroby. V závěru kapitoly 2 byla detailně popsána daná linka, kterou se diplomová práce zabývá. Následně byla identifikována úzká místa a definovaly se problémy související s danou linkou.

V praktické části diplomové práce se v prvním kroku definovaly návrhy, jak dané problémy vyřešit. Vzápětí následovala realizace daných řešení. Pro jednotlivé návrhy, byly provedeny testy, které se ve stejné kapitole vyhodnotily. V závěru praktické části byly uvedeny dodatečně alternativní řešení.

V poslední kapitole diplomové práce byly shrnuty a zhodnoceny veškeré dosažené výsledky a stanovil se přínos pro podnik.

Většina definovaných problémů, byla vyřešena anebo alespoň zlepšena do přijatelného stavu. Našly se ovšem i problémy, které se vyřešit nepodařilo. Na vyřešení těchto problémů byl ke konci řešení diplomové práce sestaven tým pro projekt Six Sigma, který se zaměří na doladění procesu.

I když se nepodařilo vyřešit veškeré stanovené problémy, tak při přihlédnutí na stav, ve kterém bylo zařízení před optimalizací, lze celkově optimalizaci procesu zhodnotit jako úspěšnou. Ve stručnosti lze hlavní zlepšení shrnout následovně:

- byly odstraněny problematické otřepty,
- výskyt nejkritičtějších problémů (useknutý praporek, žádné osazení) byl eliminován na minimum,
- Cycle Time byl redukován na polovinu,
- byla zlepšena automatizace pozice 2 a díky tomu se odstranil 1 ze vstupních prvků.

Seznam použité literatury

1. KUTZ, M, E. *Mechanical Engineers' Handbook*. Fourth edition. Hoboken: Wiley, 2015. ISBN 978-1-118-11284-7.
2. Lean. *Management Mania*. [online]. 2016 [vid. 2018-03-11]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/lean>
3. DOMBROSKI S.; DOLNÍČEK L. Štíhlé principy a procesně orientovaná výroba. *System On Line*. [online]. 2013 [vid. 2018-03-11]. Dostupné z: <https://www.systemonline.cz/rizeni-vyroby/stihle-principy-a-procesne-orientovana-vyroba.htm>
4. Co je štíhlá výroba?. *Štíhlá Výroba*. [online]. 2017 [vid. 2018-03-11]. Dostupné z: <https://stihlavyroba.eu/principy-stihle-vyroby/s-29/>
5. KERKOVSKÝ, M. *Moderní přístupy k řízení výroby*. V Praze: C. H. Beck, 2001. ISBN 80-7179-471-6.
6. Štíhlá výroba – Lean Production. *Synext*. [online]. 2008 [vid. 2018-03-11]. Dostupné z: <http://www.synext.cz/stihla-vyroba-lean-production.html>
7. Štíhlá výroba a její metody. *BeeWaTec*. [online]. 2010 [vid. 2018-03-11]. Dostupné z: <http://www.beewatec.cz/katalog-produktu/stihla-vyroba>
8. KOŠTURIÁK, J.; FROLÍK, Z. *Štíhlý a inovativní podnik*. Praha: Alfa Publishing, 2006. Management studium. ISBN 80-868-5138-9.
9. JIRÁSEK, J. *Štíhlá výroba*. Praha: Grada, 1998. ISBN 80-716-9394-4.
10. Štíhlý podnik. *Svět produktivity* [online]. 2012 [vid. 2018-03-11]. Dostupné z: <http://www.svetproduktivity.cz/clanek/metodika-stihly-podnik.htm/>
11. JIT (Just-in-Time). *Management Mania*. [online]. 2016 [vid. 2018-03-11]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/just-in-time>
12. VÍTEK, V. Kanban. *Svět Produktivity*. [online]. 2012 [vid. 2018-03-12]. Dostupné z: <http://www.svetproduktivity.cz/slovník/Kanban.htm>
13. ŠIMON, M.; MILLER A. Kanban – výroba tahem. *System On Line*. [online]. 2014 [vid. 2018-03-12]. Dostupné z: <https://m.systemonline.cz/rizeni-vyroby/kanban-vyroba-tahem.htm>
14. Kaizen. *Svět Produktivity*. [online]. 2012 [vid. 2018-03-12]. Dostupné z: <http://www.svetproduktivity.cz/slovník/Kaizen.htm>
15. Time for 5S!. *LeanSensei* [online]. 2010 [vid. 2018-03-11]. Dostupné z: <https://leansensei.wordpress.com/2010/01/09/time-for-5s/>
16. ŠAJDLEROVÁ, I. *Organizace a řízení výroby*. [online]. 1. vyd. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2012. ISBN 978-80-248-2775-9. Dostupné z: http://projekty.fs.vsb.cz/459/ucebniopory/Organizace_a_rizeni_vyroby.pdf
17. Metoda 5S. *Managementmania* [online]. 2016 [vid. 2018-03-12]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/metoda-5s>
18. Metoda 5S. *Ikvalita* [online]. 2008 [vid. 2018-03-12]. Dostupné z: <http://www.ikvalita.cz/tools.php?ID=128>
19. TPM (Total Productive Maintenance). *Management Mania*. [online]. 2016 [vid. 2018-03-13]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/tpm-total-productive-maintenance>

20. SMED – Single Minute Exchange of Dies. *iKvalita*. [online]. 2016 [vid. 2018-03-13]. Dostupné z: <http://www.ikvalita.cz/tools.php?ID=129>
21. Six Sigma Through the years. *EXPERTS* [online]. 2008 [vid 2018-03-12]. Dostupné z: http://6sigmaexperts.com/presentations/Six_Sigma_Through_the_Years.pdf
22. Six Sigma Tutorial. *Knowledge Hills* [online]. 2011 [vid 2018-03-12]. Dostupné z: <http://sixsigmatutorial.com/defect-based-six-sigma-metrics-dpo-dpmo-ppm-dpuyield/276/>
23. Poka Yoke. *Management Mania*. [online]. 2016 [vid. 2018-03-14]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/poka-yoke>
24. Poka-Yoke. *iKvalita*. [online]. 2012 [vid. 2018-03-11]. Dostupné z: <http://www.ikvalita.cz/tools.php?ID=139>
25. Poka-yoke (odolnost vůči chybám). *Process Quality Management*. [online]. 2017 [vid. 2018-03-14]. Dostupné z: <http://www.pqm.cz/nvcss/pyokecs.html>
26. Poka Yoke. *Lean Manufacturing Tools*. [online]. 2018 [vid. 2018-03-14]. Dostupné z: <http://leanmanufacturingtools.org/494/poka-yoke/>
27. KRIŠŤAK, J. POKA YOKE. *IPA Czech*. [online]. 2007 [vid. 2018-03-14]. Dostupné z: <https://www.ipaczech.cz/cz/ipa-slovník/poka-yoke>
28. POKA YOKE – A method to create a Safe Design. *PDCA HOME* [online]. 2013 [vid. 2018-03-13]. Dostupné z: <http://pdcahome.com/english/124/poka-yoke-a-method-to-create-a-safe-design/>
29. The Poka-Yoke Process. *Balluff*. [online]. 2016 [vid. 2018-03-11]. Dostupné z: <https://www.balluff.com/local/us/solutions-and-technologies/error-proofing/poka-yoke/>
30. Sbírka listin. *Justice.cz* [online]. 2015 [vid. 2017-11-08]. Dostupné z: <https://or.justice.cz/ias/ui/vypis-sl-firma?subjektId=692584>
31. Výpis z obchodního rejstříku. *Justice.cz* [online]. 2015 [vid. 2017-11-08]. Dostupné z: <https://or.justice.cz/ias/ui/rejstrik-firma.vysledky?subjektId=692584&typ=PLATNY>
32. Continental: The Future in Motion. *Continental-Corporation.com* [online]. 2015 [vid. 2017-11-08]. Dostupné z: <https://www.continental-corporation.com/cs-cz>
33. Interní zdroj

Seznam obrázků

Číslo	Název	Str.
Obr. 1	Plýtvání ve výrobě ⁸	9
Obr. 2	Příklad Poka-Yoke v elektronice ²⁸	12
Obr. 3	Příklad Poka-Yoke v hromadné výrobě ²⁹	12
Obr. 4	Logo společnosti Continental Automotive Czech Republic s.r.o. ³²	13
Obr. 5	Příklad výrobků ze závodu Frenštát pod Radhoštěm ³³	14
Obr. 6	Popis funkce výrobku ³³	15
Obr. 7	Vyráběné varianty ³³	15
Obr. 8	Rozdíl v designu housingu ³³	16
Obr. 9	Komponenty ultrazvukového senzoru ³³	16
Obr. 10	Příklad výrobku senzoru ze závodu Frenštát pod Radhoštěm ³²	17
Obr. 11	Výtažek z mapy procesu výroby ultrazvukového senzoru ³³	18
Obr. 12	Layout pracoviště výroby ultrazvukového senzoru ³³	19
Obr. 13	Proces montáž krytky a těsnění	19
Obr. 14	Vstupní komponent čepička (cap)	20
Obr. 15	Vstupní komponent housing s navařenou trubičkou	20
Obr. 16	Vstupní komponent těsnění (H-Ring)	20
Obr. 17	Lůžko pro založení vstupních komponentů	21
Obr. 18	Prvky Poka-Yoke	21
Obr. 19	Správné založení vstupních komponentů na pozici 1	22
Obr. 20	Osazování těsnění na pozici 3 ³³	22
Obr. 21	Otřepy na těsnění	24
Obr. 22	Porovnání původní kvality těsnění s nynější	25
Obr. 23	Useknutý praporek	25
Obr. 24	Příklad zvlnění	26
Obr. 25	Příklad částečného osazení	27

Číslo	Název	Str.
Obr. 26	Příklad neosazení vůbec	27
Obr. 27	Porovnání těsnění nejvyšší kvality bez otřepů (vlevo) s běžným těsněním	31
Obr. 28	Porovnání těsnění pro test tření (těsnění z leva: nejvyšší kvality, běžné, nové)	33
Obr. 29	Použité mazivo pro druhý test tření	33
Obr. 30	Teoretický start pro nový druh zažehlování	34
Obr. 31	Porovnání přechodných hran u vyráběných variant	35
Obr. 32	Návrh redukce pro přechodnou hranu ³³	35
Obr. 33	Výtažek z původní dokumentace (původní Cycle Time) ³³	37
Obr. 34	Naměřené hodnoty pro test měření	40
Obr. 35	Ukázka z výroby (běžné těsnění)	41
Obr. 36	Zmetkovitost pro test 2 těsnění	41
Obr. 37	Část kusů pro testování	42
Obr. 38	Průběh vyhodnocování vybraných kusů	42
Obr. 39	Ukázka šablony pro vyhodnocování ³³	43
Obr. 40	Výsledky testu tření	44
Obr. 41	Ukázka vzorků pro test mazání	45
Obr. 42	Ukázka sušení těsnění	45
Obr. 43	Výsledky testu rychlosti osazování	47
Obr. 44	Kolonka průjezdového zažehlení ³³	47
Obr. 45	Průběh vyhodnocování testu zažehlování	47
Obr. 46	Vyhodnocená data z testu zažehlování	49
Obr. 47	Porovnání starého a nového nástroje (zkosení hrany)	49
Obr. 48	Typy redukcí (z leva: a, b, c)	50
Obr. 49	Výsledky testů s redukcí	51
Obr. 50	Vibrační podavač ³³	52
Obr. 51	Nabití čepičky (z leva: a, b)	53

Číslo	Název	Str.
Obr. 52	Nastavení podmínek u kamery pro čepičky (z leva: a, b)	54
Obr. 53	Nový typ lůžka (bez čepičky)	54
Obr. 54	Nový Cycle Time po optimalizaci a automatizaci ³³	54
Obr. 55	Nový senzor SICK pro kontrolu správné verze	55
Obr. 56	Nový aretační šroub proti náhodnému vytažení	56
Obr. 57	Dřívější umístění lůžek	56
Obr. 58	Umístění nového šuplíku pro lůžka ³³	57
Obr. 59	Nový box pro přípravky (lůžka)	57
Obr. 60	Proces osazování těsnění v Číně (z leva: a, b) ³³	58
Obr. 61	Proces osazování čepičky a těsnění v Číně ³³	58
Obr. 62	Proces osazování těsnění v Maďarsku (z leva: a, b, c) ³³	59
Obr. 63	Porovnání počtu vyrobených kusů v čase	60

Seznam tabulek

Číslo	Název	Str.
Tab. 1	Nejčastější lidské chyby ²⁷	11
Tab. 2	Problémy se zařízením	24
Tab. 3	Problémy se zařízením	30
Tab. 4	Úkoly pro problém s otřepy	32
Tab. 5	Podíl složek těsnění	32
Tab. 6	Soupis testů pro useknutý praporek, zvlnění, částečné a žádné osazení	36
Tab. 7	Úkoly pro problém: Cycle Time	37
Tab. 8	Úkoly pro problém: MES	37
Tab. 9	Úkoly pro problém: čidlo na hlídání	37
Tab. 10	Úkoly pro problém: nepevnost lůžka	38
Tab. 11	Problémy a úkoly	39
Tab. 12	Výsledky testu zaměřený na otřepy	41
Tab. 13	Výsledky testu pro běžné těsnění	43
Tab. 14	Výsledky testu pro těsnění nejvyšší kvality bez otřepů	43
Tab. 15	Výsledky testu pro těsnění od nového dodavatele	44
Tab. 16	Výsledky testu rychlého (běžného) osazování	46
Tab. 17	Výsledky testu pomalého osazování	46
Tab. 18	Výsledky testu bez zažehlení	48
Tab. 19	Výsledky testu pro zažehlení v koncové poloze	48
Tab. 20	Výsledky testu pro vícenásobné zažehlení v koncové poloze	48
Tab. 21	Výsledky testu pro zažehlení při pohybu dolů	48
Tab. 22	Výsledky testu nového nástroje	50
Tab. 23	Výsledky testu redukce z 3D tiskárny	50
Tab. 24	Výsledky testu redukce od dodavatele	51
Tab. 25	Výsledky testu redukce interní	51
Tab. 26	Souhrn řešení problémů	62